

# TESIS

## PERILAKU TANAH EKSPANSIF YANG DICAMPUR DENGAN PASIR UNTUK SUBGRADE



Disusun Oleh :

Nama : WIJAYA SETA  
NIM : L4A001013

---

MAGISTER TEKNIK KONSENTRASI TRANSPORTASI  
UNIVERSITAS DIPONEGORO

## ABSTRAK

*Tanah ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang-susut tinggi akibat adanya perubahan kadar air, sehingga daya dukungnya sangat dipengaruhi perubahan kadar air.*

*Indonesia atau khususnya Pulau Jawa tidak dapat dilepaskan dari musim kemarau dan musim hujan yang sangat berpengaruh terhadap kadar air tanah. Kandungan butiran halus yang sangat besar, adalah salah satu kondisi yang mengakibatkan adanya penyerapan air yang sangat besar, karena rongga yang besar dalam struktur tanah lempung ekspansif mengakibatkan tersedianya ruang untuk masuk atau keluarnya air.*

*Penelitian ini ditujukan untuk memperbaiki gradasi tanah dengan cara mencampur tanah asli dengan campuran bahan stabilisasi yang mempunyai ukuran butir lebih besar, dengan demikian diharapkan akan terjadi pengurangan volume pengembangan dan daya dukung dapat dipertahankan atau dengan perubahan tidak terlalu besar antara kondisi kering dan kondisi terendam.*

*Pengujian dilakukan dengan cara mencampur tanah asli dengan pasir, kemudian dilakukan pengujian sifat-sifat fisik dan teknis dalam kondisi kering maupun kondisi terendam. Dalam pengujian ini juga dilakukan pengujian pemadatan dengan dua metode, yaitu: Standard AASHTO dan Modified AASHTO.*

*Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan daya dukung (CBR) akibat tambahan pasir, semakin banyak campuran pasir, semakin tinggi harga kepadatan kering dan CBR baik CBR Soaked maupun CBR Unsoaked. Dengan campuran 50% pasir dan dengan metode pemadatan Modified Proctor hanya meningkatkan harga CBR Soaked dari 1,30% menjadi 2,1%.*

*Dalam pengujian pengembangan ternyata swelling potential semakin bertambah dari semula 13,50% menjadi 17,40% pada campuran 50% pasir, jadi dengan tambahan campuran pasir, kepadatan kering bertambah dan pengembangan juga bertambah. Pertambahan pengembangan ini sangat tidak menguntungkan karena akan melunakkan konstruksi.*

*Pengujian pemadatan dengan metode Standard Proctor atau dengan pengurangan daya pemadatan, menghasilkan kondisi yang lebih stabil antara kondisi kering dan kondisi basah, hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan pengembangan dari semula 7,90% pada tanah asli menjadi 1,10% pada campuran 50% pasir. Dan harga CBR Soaked naik dari semula 1,60% menjadi 5,60%, hasil ini secara teoritis memenuhi syarat untuk subgrade jalan.*

*Pengujian tanah ekspansif dengan cara mencampur dengan pasir, hasilnya sangat tergantung dari banyaknya campuran pasir dan metode pemadatan yang diterapkan, karena naiknya kepadatan kering dapat mengakibatkan naiknya pengembangan dan turunnya daya dukung.*

*Kata kunci: stabilisasi, tanah lempung ekspansif, pengembangan*

## ABSTRACT

Expansive soil is the soil which has characteristic of high swell-shrink because of changing in moisture content. Therefore, expansive soil load-bearing capacity is affected by moisture content change.

Indonesia, especially Java island can not be apart from dry season and rainy season which have very influential to soil moisture content. High content of fine-grained soil is one condition which cause high water absorption, because the large void in clay expansive soil structure cause the space for water to come in or out.

The purpose of this research is to improve soil gradation in a way by mixing the nature soil together with the stabilization material which has bigger grain size, so that the expectation of swelling volume decreasing and load-bearing capacity can be maintained or changed which is not too big can happened in an unsoaked or soaked condition.

The test is conducted by mixing the nature soil together with the sand, then the physical and technical properties test carried out in an unsoaked or soaked condition. The compaction test with two method, those are AASHTO Standard and AASHTO Modified, also carried out in this research.

The test result indicates that load-bearing capacity (CBR) increasing because of added sand. The larger is sand mixture, the higher is dry density value and CBR, either Soaked CBR or Unsoaked CBR. 50% sand mixture with Modified Proctor compaction method increase Soaked CBR only 1,30 % to 2,10 %.

In swelling test, swelling potential apparently more increasing from 13,50 % to 17,40 % in 50 % sand mixture. Therefore, added sand mixture increase dry density and also increase swelling. This swelling increased is disadvantage condition because it is can weaken the construction.

Compaction test with Standard Proctor method or with decreasing the compaction caused more stabilize condition either in soaked or unsoaked condition. It is indicated by nature soil swelled decreasing from 7,90 % to 1,10 % at 50% sand mixture. And the Soaked CBR value increase from 1,60 % to 5,60. This result meets a demand of sub grade qualification theoretically.

The result of expansive soil test by mixing with sand is depend on the content of sand mixture combined with the compaction method which is conducted, because dry density increasing can increase swelling and decrease bearing capacity.

Keywords: stabilization, expansive clay soil, swelling.

# DAFTAR ISI

Isi	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	?
DAFTAR GAMBAR	?
DAFTAR LAMPIRAN	?
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Lokasi Penelitian	6
1.6 Hipotesa	7
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	<b>9</b>
2.1 Sifat – sifat Tanah	9
2.1.1 Sifat-sifat fisik	9
2.1.1.1 ?????	11
2.2 ?????	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>22</b>
3.1 ?????	25
3.2 ?????	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>40</b>
4.1 ?????	40
4.1.1 ???	40
4.1.2 ???	41
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	<b>113</b>
5.1 Kesimpulan	113
5.2 Saran	116
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>118</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## **BAB 1**

# **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tanah merupakan bagian penting dari sistem konstruksi jalan raya, sebagai bagian dari sistem, kekuatan dan stabilitas tanah sangatlah diperlukan untuk mendukung beban jalan raya tersebut. Hal di atas ditegaskan Bowles (1986) yang menyatakan bahwa tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila tanah dapat dipergunakan secara langsung akan menjadi sangat ekonomis. Bendungan tanah, tanggul sungai dan timbunan jalan raya serta kereta api, kesemuanya merupakan pemakaian yang ekonomis dari tanah sebagai bahan konstruksi, walaupun demikian, sama halnya seperti bahan konstruksi lainnya, ia harus dipakai setelah kualitasnya dikontrol. Apabila tanah ditimbun secara sembarangan, hasilnya akan merupakan tanah timbunan dengan berat satuan yang rendah dan mengakibatkan stabilitas yang rendah dan penurunan tanah yang besar.

Tanah di satu lokasi mempunyai karakteristik yang berbeda dengan tanah di lokasi yang lain. Hal inilah yang menjadikan kekuatan daya dukung tanah sebagai bagian dari sistem konstruksi jalan raya berbeda di satu lokasi dengan lokasi yang lain. Karakteristik tanah sangat mempengaruhi besarnya daya dukung tanah terhadap beban di atasnya. Jika karakteristik tanah dengan kandungan mineral yang tidak kuat untuk mendukung beban di atasnya, maka akan dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi yang didukungnya.

Kerusakan tanah sebagai bagian dari sistem konstruksi jalan raya dapat diperbaiki dengan cara memperkuat perkerasan jalan raya, antara lain dengan memasang dinding penahan, membuat konstruksi rigid pavement dan dengan stabilisasi tanah. Pada kesempatan ini, penelitian perbaikan tanah akan difokuskan pada stabilisasi tanah, pemilihan fokus ini akan dijelaskan sebagai berikut.

Stabilisasi tanah dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah asli dengan cara antara lain menambahkan suatu bahan tertentu yang mengakibatkan

perubahan sifat-sifat tanah asli tersebut. Disamping itu, stabilisasi tanah diperlukan dalam rangka memperbaiki sifat – sifat tanah yang mempunyai daya dukung rendah, indeks plastisitas tinggi, pengembangan tinggi dan gradasi yang buruk menjadi lebih baik bagi konstruksi jalan.

Dalam rangka memenuhi kebutuhan konstruksi jalan dimana penggantian material untuk *subgrade* di beberapa tempat dipandang tidak efisien, maka dicari suatu cara untuk meningkatkan kualitas tanah yang ada menjadi lebih baik untuk kepentingan konstruksi jalan tanpa harus mengganti tanah yang ada.

Beberapa cara penanggulangan telah dilakukan, antara lain dengan tembok penahan, *rigid pavement*, dan lain-lain. Pengalaman menunjukkan bahwa tembok penahan banyak mengalami kegagalan (terguling), sedangkan *rigid pavement* mengalami kerusakan berupa pecah di beberapa tempat seperti terlihat pada Lampiran H dan tipe kerusakan pada flexible pavement seperti pada Lampiran H.

Pengaruh perbaikan dengan cara stabilisasi tanah dan bagaimana hasilnya dibanding cara perbaikan yang lain, membutuhkan penelitian untuk mengetahui hal tersebut. Di samping itu sifat-sifat tanah pada lokasi penelitian dan fenomena-fenomena yang ditunjukkan oleh jalan pada lokasi penelitian menunjukkan dibutuhkannya stabilisasi tanah pada lokasi daerah tersebut seperti yang dikutip pada pernyataan Bowles di atas, yaitu untuk mencari daya dukung tanah sesuai dengan beban yang harus didukungnya.

Kemudian Johnson dan Sallberg, menyatakan bahwa pada umumnya semakin banyak butir kasar dalam tanah, daya dukungnya semakin meningkat dan sifat pengembangan semakin rendah (Krebs & Walker, 1971). Penambahan material berbutir kasar pada material lempung akan mengakibatkan perubahan pada sifat-sifat tanah yang menjurus kepada peningkatan daya dukung, oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah dengan cara memperbaiki gradasinya yaitu mencampur lempung (tanah asli) dengan pasir (gradasi lebih besar).

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang teridentifikasi pada lokasi penelitian yaitu pada ruas jalan Godong – Purwodadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Terdapatnya kerusakan jalan dengan konstruksi flexible pavement berupa penurunan, retak memanjang dan pergeseran yang disebabkan oleh ketidakstabilan tanah.
2. Dilakukannya implementasi perbaikan kerusakan antara lain dengan dinding penahan dan *Rigid Pavement* ternyata gagal mengatasi kerusakan tersebut.
3. Diperlukannya penyelidikan mendalam terhadap sifat-sifat tanah di lokasi tersebut untuk mendapatkan cara perbaikan yang lebih tepat dan lebih efisien.
4. Perlunya dilakukan penelitian tentang perbaikan tanah dengan cara memperbaiki gradasi dengan cara mencampur tanah asli dengan pasir guna mendapatkan susunan gradasi yang lebih kasar.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tentang perilaku stabilisasi tanah dengan pasir pada ruas jalan Godong – Purwodadi adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat-sifat fisik dan teknis tanah lempung pada lokasi penelitian.
2. Mencari perbandingan campuran pasir dengan lempung yang optimum ditinjau dari sifat fisik dan teknis tanah.
3. Mengetahui perilaku pengaruh perbaikan sifat-sifat tanah dengan cara stabilisasi campuran pasir dibandingkan dengan sifat-sifat asli.
4. Mencari metode pemadatan yang sesuai dengan tanah lempung, khususnya pada lokasi penelitian.

### **1.4 Batasan Penelitian**



Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan sebagai berikut :

1. Penelitian ini adalah penelitian perbaikan tanah yang dibatasi hanya pada stabilisasi tanah dengan cara pencampuran dengan pasir.
2. Pasir yang digunakan berasal dari pasir gunung Merapi karena mempunyai volume *quary* yang besar dengan material bergradasi kasar, untuk penelitian ini dipergunakan contoh yang lolos saringan no. 4.
3. Contoh tanah asli yang dipergunakan adalah *disturbed sample* yang diambil dari tepi ruas jalan Semarang - Purwodadi.
4. Metode test yang dipergunakan adalah berdasarkan metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dan dilaksanakan di laboratorium Pusat Penelitian Prasarana Transportasi di Bandung.
5. Metode test pemadatan yang diterapkan untuk seluruh sampel adalah *Modified Proctor* (AASHTO T 180 - 74) dan *California Bearing Ratio (CBR)* dengan metode AASHTO T 193 - 72, sedangkan untuk test pengembangan dengan metode AASHTO T 193 - 72.
6. Metode tes pemadatan Standar Proctor (AASHTO T 99-74-Modifikasi) diterapkan pada sampel tanah. Yang dimaksud dengan T-99-74 Modifikasi adalah:
  - a. Digunakan mold dan hammer modified yaitu mold volume  $1/13,57 \text{ ft-lb/ft}^3$ , dan hammer 10 lb, tinggi jatuh 18 inchi.
  - b. Jumlah tumbukan 12 kaki dan jumlah lapisan 5.
  - c. Daya pemadatan Standard Proctor yaitu  $12.200 \text{ ft-lb/ft}^3$ .

## 1.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah ruas jalan Godong - Purwodadi, yang merupakan sebagian ruas jalan dari Semarang menuju Purwodadi. Untuk memperjelas pemahaman lokasi kondisi tanah yang akan diteliti, di bawah ini adalah gambaran peta ruas jalan Semarang - Godong - Purwodadi (Gambar 1.3).



Gambar 1.3 Denah Lokasi Penelitian

Keterangan:



Lokasi penelitian

## 1.6 Hipotesa

- Hipotesa :
- 1) Percobaan perbaikan tanah dengan stabilisasi campuran pasir adalah salah satu upaya mencari solusi untuk perbaikan tanah ekspansif.
  - 2) Semakin banyak campuran pasir pada tanah ekspansif, semakin tinggi nilai stabilitasnya.
  - 3) Ada hubungan antara gradasi tanah dengan sifat-sifat fisik dan mekanis.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan studi ini adalah sebagai berikut :

- Bab I Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah yang ada, tujuan penelitian, hipotesis, batasan penelitian, dan lokasi penelitian.

➤ Bab II Tinjauan pustaka

Bab ini membahas tentang sifat-sifat fisik dan teknis tanah lempung, klasifikasi tanah dan beberapa metode klasifikasi, karakteristik tanah dan identifikasi tanah lempung ekspansif, karakteristik pasir dan pengertian tentang stabilisasi tanah, serta beberapa studi tentang stabilisasi tanah lempung yang pernah dilakukan.

➤ Bab III Metodologi

Bab ini menguraikan tentang urutan kerja dan tata cara kerja penelitian mulai dari pengambilan contoh tanah lempung dan pasir, pencampuran, dan pengujian tanah asli serta tanah campuran.

➤ Bab IV Hasil penelitian dan pembahasan

Bab ini menampilkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan sesuai dengan metodologi penelitian serta analisa dari hasil pengujian tersebut.

➤ Bab V Kesimpulan dan saran

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran.

## **BAB 2**

# **TINJAUAN REFERENSI**

Untuk mengkaji dan mempelajari pengaruh perbaikan tanah dengan cara stabilisasi tanah dibutuhkan pemahaman yang baik tentang sifat-sifat tanah yang terdiri dari sifat fisis dan sifat teknis. Pemahaman ini penting tidak hanya untuk menentukan jenis produk stabilisasi yang tepat, akan tetapi juga untuk menghasilkan perbaikan yang optimum dari stabilisasi tanah itu.

Sifat-sifat tanah baik sifat fisis dan teknis ditentukan oleh jenis klasifikasi tanah tersebut. Klasifikasi tanah ini dimaksudkan untuk mempermudah pengelompokkan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Dalam hubungannya dengan stabilisasi tanah dengan cara penambahan aditif, faktor penting yang ditinjau dari sifat tanah adalah jenis butirannya dan tingkat gradasinya. Semakin besar ukuran butir tanah akan semakin mempertinggi tingkat stabilisasi tanah.

Berdasarkan asal mula pembentukannya, tanah dapat dibedakan dalam 2 (dua) kelompok besar yaitu sebagai hasil pelapukan, baik secara fisika maupun secara kimiawi dan yang lainnya berasal dari bahan organis. Jika hasil pelapukan masih berada ditempat asalnya, disebut tanah residual dan apabila telah berpindah tempat disebut tanah angkutan.

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau semua jenis material berikut yaitu kerikil, pasir, lanau dan lempung. Secara kualitatif sifat-sifat agregat kerikil dan pasir dinyatakan dengan istilah padat, sedang dan lepas. Sedangkan untuk lempung (*clay*) dipergunakan istilah keras, kaku sedang dan lunak.

Sedangkan lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan sub-mikroskopis yang berasal dari pelapukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, bersifat plastis dalam selang kadar air dari sedang sampai

dengan tinggi. Pada keadaan kering bersifat sangat keras dan tidak dapat terkelupas hanya dengan menggunakan jari tangan. Selain itu lempung mempunyai permeabilitas yang rendah.

## 1.8 Sifat-sifat Tanah

Sifat-sifat tanah terdiri dari sifat-sifat fisik ( *physical properties* ) dan sifat-sifat teknis ( *engineering properties* ). Sifat-sifat fisik antara lain mengenai distribusi ukuran butir, bentuk, batas-batas *consistency* dan permeabilitas ( *permeability* ) sedangkan sifat-sifat teknis antara lain terdiri dari regangan - tegangan, konsolidasi dan pemadatan.

### 2.1.1 Sifat-Sifat Fisik

#### A. Analisis distribusi butir

Tujuan dari analisa distribusi butir adalah untuk dapat mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikelnya. Pengukuran distribusi butir di laboratorium dilakukan dengan 2 cara yaitu *sieve analysis* dan *hydrometer analysis*.

*Sieve analysis* dilakukan untuk tanah yang berbutir kasar yaitu tertahan saringan no. 200 (diameter lebih besar dari 0,06 mm), percobaannya dilakukan dengan cara mekanis, yaitu contoh tanah diguncang dengan kecepatan tertentu di atas sebuah susunan ayakan, kemudian masing - masing tanah yang tertahan di atas saringan ditimbang beratnya dan digambar di dalam satu grafik logaritmis hubungan antara diameter butir (mm) vs prosentase lolos.

*Hydrometer analysis* yaitu percobaan untuk mengetahui distribusi butiran yang lolos saringan no. 200 (diameter lebih kecil dari 0,06 mm), dengan proses sedimentasi. Butiran yang besar akan mengendap terlebih dahulu di dalam suatu larutan dan yang lebih kecil akan lebih lambat, dengan mengukur kecepatan jatuh partikel di dalam larutan berdasarkan *Hukum Stoke*, dapat diketahui prosentase masing - masing *range* ukuran berbutir.

## B. *Atterberg limits*

*Atterberg Limits* (batas-batas *Atterberg*) adalah batas-batas plastisitas tanah yang terdiri dari batas atas kondisi plastis disebut "*plastic limit* " dan batas bawah kondisi plastis disebut "*liquid limit*", kedua batas inilah yang disebut batas-batas *Atterberg*.

Kedua batasan ini sangat menentukan sifat-sifat tanah karena pada tanah lempung sifat-sifat fisiknya lebih banyak ditentukan oleh harga plastisitasnya.

Pada dasarnya tanah mempunyai 3 batasan yaitu kondisi cair, kondisi plastis dan kondisi semi padat, batas antara kondisi cair ke plastis disebut batas cair dan batas antara kondisi plastis ke non plastis disebut batas plastis sedangkan batas antara plastis ke semi padat disebut batas penyusutan (*shrinkage limits*).

*Atterberg*, menurut Krebs & Walker (1971), mendefinisikan batas-batas plastisitas tanah sebagai berikut :

- ◆ *Plastic limit* adalah kadar air dimana tanah berubah dari keadaan plastis menjadi non plastis.

Percobaan batas plastis dilakukan dengan menggulung tanah di atas plat kaca sehingga menjadi berbentuk bulat panjang sampai mengalami retak, *plastic limit* adalah kadar air pada saat gulungan tanah pada diameter 1/8" mengalami retak.

- ◆ *Liquid limit* adalah didefinisikan sebagai kadar air dimana tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis.

Pengukuran batas cair dilakukan dengan alat *Casagrande* yang distandardisir pada tahun 1932, alat ini terdiri dari mangkok logam yang diletakkan di atas plat ebonit. Tanah diletakan di atas mangkok, diratakan dan digores dengan *grooving tool* sehingga membentuk sebuah alur memanjang (ukuran standar), mangkok diputar dengan kecepatan putaran konstan 2 putaran/detik dengan ketinggian jatuh 1 cm, sehingga membentuk suatu ketukan teratur.

Harga *liquid limit* adalah kadar air dimana diperlukan 25 ketukan untuk menutup alur *grooving tool* sepanjang  $\frac{1}{2}$  “.

Dengan diketahui batas cair dan batas plastis, maka apabila digambar dalam *Plasticity Chart Unified Soil Classification* dapat ditentukan klasifikasi tanahnya.

### 2.1.2 Sifat-Sifat Teknis

Sifat - sifat teknis terdiri dari tegangan - regangan, konsolidasi dan pemadatan. Dalam penulisan ini konsolidasi tidak diuraikan karena tidak dilakukan percobaan.

#### A. *Unconfined Compressive Strength ( UCS )*

Percobaan ini dilakukan untuk mengukur daya dukung vertikal tanah pada posisi terbuka ( tidak ada tekanan horisontal ).

Percobaan dilakukan dengan membuat contoh dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 2” dan panjang 12 cm, contoh diletakkan pada media penekan dan ditekan dengan kecepatan 1,5 mm/menit, dicatat penurunan dan perlawanannya sampai tanah mengalami keruntuhan.

Dibuat grafik hubungan antara perlawanan ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan penurunan (cm), sehingga diperoleh harga perlawanan maksimum sebelum tanah mengalami keruntuhan.

#### B. *Pemadatan ( Compaction )*

Pemadatan adalah upaya manusia untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan cara memberikan beban sehingga udara keluar dari rongga antara butir - butir tanah, dan rongga tersebut diisi oleh butiran dan air, mengingat bahwa suatu massa tanah terdiri dari butiran tanah, air, dan udara.

R.R. Proctor menurut Krebs & Walker (1971), menyatakan bahwa ukuran kepadatan tanah adalah berat isi keringnya ( $\gamma_{dry}$ ), yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dibandingkan dengan volumenya. Dengan demikian dalam suatu

volume tertentu semakin besar rongga, akan semakin kecil volume butiran dan semakin kecil harga kepadatan keringnya demikian sebaliknya.

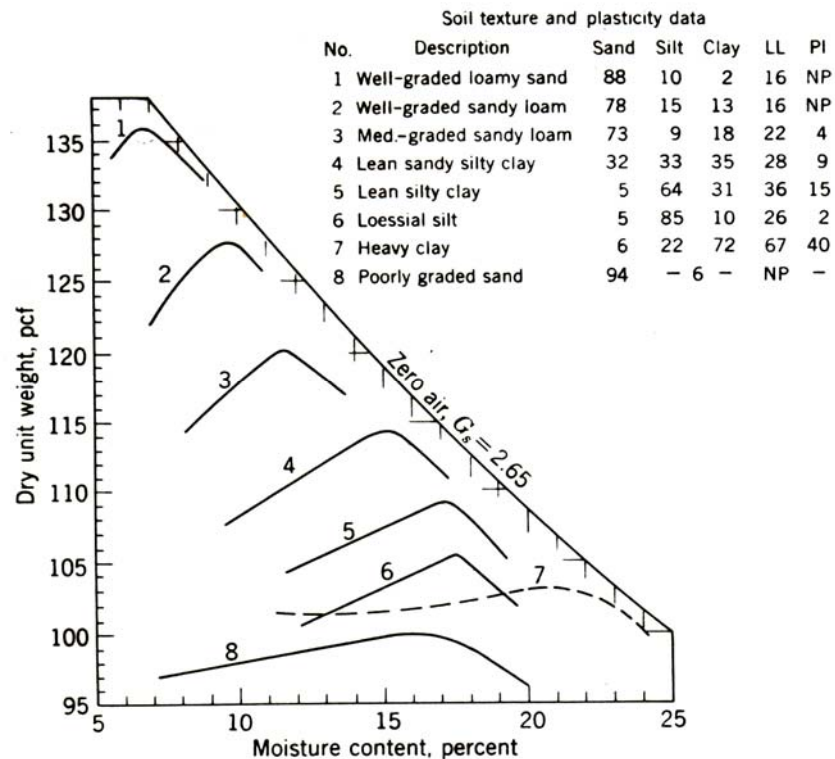
Harga kepadatan kering yang dapat dicapai oleh suatu jenis tanah dipengaruhi oleh 4 variabel yaitu :

1. Berat isi kering ( kepadatan kering ) ( $\rho_d$ )
2. Kadar air pada saat pemadatan ( $\omega$ )
3. Daya pemadatan ( *compactive effort* ) ( C.E )
4. Jenis tanah

Jadi besarnya kepadatan kering tergantung dari jenis tanah meskipun tanah dipadatkan dengan daya pemadatan dan metode yang sama, harga kepadatan kering yang diperoleh akan berbeda bila jenis tanahnya berbeda.

Pada Gambar 2.1 digambarkan Grafik hubungan antara kadar air dan kepadatan kering untuk berbagai jenis tanah dengan nilai Plasticity Index (PI) nol sampai dengan 40, dalam hal ini jenis tanah diwakili dengan harga Liquid Limit dan Plasticity Index.

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa semakin rendah harga PI (Plasticity Index) atau semakin tinggi kadar pasir, maka semakin tinggi harga kepadatan kering dan semakin rendah Optimum Moisture Content (OMC).

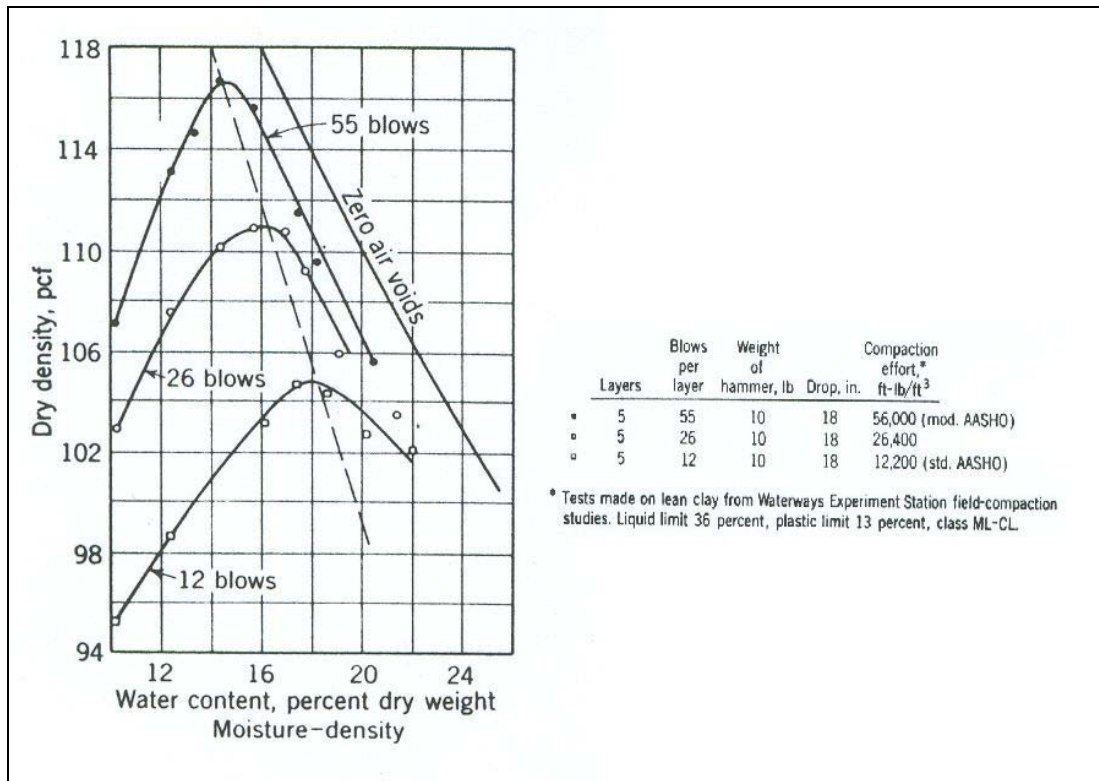




*Sumber : Krebs & Walker (1971)*

Gambar 2.1 Grafik Hubungan antara Kadar air dan Kepadatan kering

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan hubungan antara kadar air dan kepadatan kering satu jenis tanah yang dipadatkan dengan daya pemadatan (CE) yang berbeda, yaitu dengan jumlah lapisan 5, berat hammer 10 lb dan tinggi jatuh 18 inchi tetapi jumlah tumbukannya berbeda yaitu masing-masing 12 kali, 26 kali dan 55 kali tumbukan (Mc Rae, 1959) atau rinciannya sebagai berikut:



Sumber : Krebs & Walker (1971)

Gambar 2.2 Hubungan antara kadar air dan kepadatan kering dengan variasi daya pemadatan

Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin banyak jumlah tumbukan semakin tinggi kepadatan kering dan semakin rendah optimum moisture content (OMC).

### C. California Bearing Ratio ( CBR )

Harga CBR merupakan ukuran daya dukung tanah yang dipadatkan dengan daya pemadatan tertentu dan kadar air tertentu dibandingkan dengan beban standard pada batu pecah.

Dengan demikian besaran CBR adalah prosentase atau perbandingan antara daya dukung tanah yang diteliti dibandingkan dengan daya dukung batu pecah standard pada nilai penetrasi yang sama (0,1 inch dan 0,2 inch).

CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam disebut *CBR Unsoaked* dan pada kondisi terendam atau disebut *CBR Soaked*, pada umumnya harga CBR *Soaked* lebih rendah dari CBR *Unsoaked*. Namun demikian kondisi *Soaked* adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga

di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR Soaked yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan.

### **1.9 Klasifikasi Tanah**

Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah yang tidak kohesif dan kohesif, atau sebagai tanah yang berbutir kasar atau halus. Istilah ini terlalu umum, sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir bersamaan sifatnya. Di samping itu klasifikasi di atas tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah itu sesuai untuk suatu bahan konstruksi (Bowles, 1986).

Klasifikasi tanah dimaksudkan untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sifat teknis dan karakteristiknya sesuai. Oleh karena itu, seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa sangat penting untuk mengetahui klasifikasi tanah jika ingin mengkaji lebih dalam tentang stabilisasi tanah.

Untuk mengklasifikasikannya diperlukan proses identifikasi bagi tanah tersebut yang dapat dilakukan dengan berbagai cara. Hendarsin (2000) menyatakan identifikasi tanah secara teknik dapat dilakukan dengan cara:

- Klasifikasi dari teknisi di lapangan
- Pemeriksaan dari macam dan karakteristik struktur di laboratorium
- Penentuan dari kepadatan atau kekasaran butir di lapangan

Secara umum tanah dapat diklasifikasikan sebagai kerikil, pasir, lanau dan lempung tergantung pada ukuran partikel paling dominan yang dimilikinya. Lempung sebagai golongan partikel, berdasarkan ukuran fisik, diameter butir elementer berukuran lebih kecil dari 2  $\mu\text{m}$ , sebagian terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis, berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel mika, mineral-mineral lempung dan mineral halus lainnya.

Selain itu ada beberapa sistem klasifikasi yang sering dipakai dalam praktek di lapangan yang dibuat sesuai dengan sifat dan kepentingannya. Sistem

klasifikasi ini juga merupakan bahasa komunikasi bagi orang-orang yang mempergunakan sistem komunikasi yang sama.

Sistem klasifikasi dimaksud antara lain:

1. Sistem klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS)
2. Sistem klasifikasi American Society for Testing and Materials (ASTM)
3. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur
4. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur dan plastisitas

Gambar 2.2 menunjukan salah satu contoh klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*. Untuk butiran halus diklasifikasikan berdasarkan Plasticity Chart dengan persamaan Garis A (*A Line*) :

$$PI = 0,73 (LL - 20) \qquad (2 - 1)$$

Dimana :

PI : Plasticity Index

LL : Liquid Limits

Dalam klasifikasi tersebut terdapat 6 jenis tanah, masing-masing dua di atas A Line yaitu CL dan CH, sedangkan yang di bawah A Line adalah ML & OL untuk Liquid Limit rendah dan MH & OH untuk Liquid Limit tinggi.

Dimana :

CL : In Organic Clay dengan plastisitas rendah

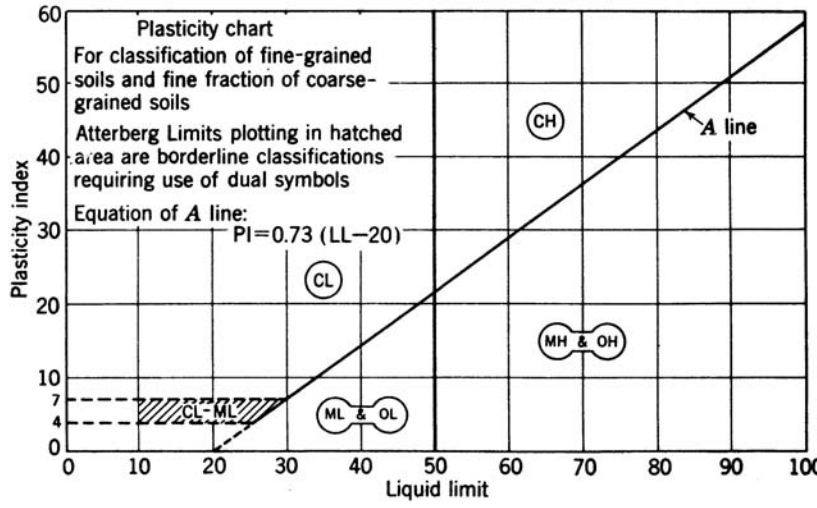
CH : In Organic Clay dengan plastisitas tinggi

ML : In Organic Silt dengan plastisitas rendah

OL : Organic Silt dengan platisitas rendah

MH : In Organic Silt dengan plastisitas tinggi

OH : Organic Silt dengan plastisitas tinggi

Group symbols	Classification criteria	
GW	Classification on basis of percentage of fines Less than 5% pass No. 200 sieve More than 12% pass No. 200 sieve 5% to 12% pass No. 200 sieve Borderline classification requiring use of dual symbols	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 4 $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3
GP		Not meeting both criteria for GW
GM		Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4
GC		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7
SW		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 6 $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3
SP		Not meeting both criteria for SW
SM		Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4
SC		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7
ML		
CL		
OL		
MH		
CH		
OH		
PT	Visual-manual identification, see ASTM D 2488.	

Sumber : Krebs & Walker (1971)

Gambar 2.3 Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS

### 1.10 Karakteristik Lempung

### 2.3.1 Karakteristik umum lempung

Perilaku dan sifat lempung sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah.

Apabila mempelajari mengenai lempung maka perlu dibedakan istilah:

- a. Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dari ukuran partikel, yang biasanya berukuran  $< 2\mu\text{m}$ .
- b. Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini  $< 2\mu\text{m}$  dan dapat pula  $> 2\mu\text{m}$ , meskipun pada umumnya  $< 2\mu\text{m}$ .

Tabel 2.1 memberikan gambaran tentang ukuran dari beberapa mineralogi yang lazim ditemui pada lempung, dimana ukuran mineral Montmorillonite terlihat paling kecil ukurannya, sehingga mempunyai spesifikasi permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan mineral lempung lainnya.

Bentuk partikel-partikel lempung, secara umum terdiri dari dua bentuk struktur, yaitu:

1. Struktur menggumpal, terdiri dari suatu partikel yang mengapung perlahan ke arah permukaan yang dihasilkan dari pembebanan listrik pada permukaannya selama pengendapan.
2. Struktur terurai, terdiri dari suatu partikel berhadapan-hadapan atau penyusunan sejajar yang terjadi selama konsolidasi (pemampatan).

Tabel 2.1 Rentang ukuran beberapa mineral lempung (Soveri, 1950)

Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ )	Unsur pokok yang dominan	Unsur pokok yang biasa	Unsur pokok yang jarang
0.1	Montmorillonite Beidellite	Illite (intermediate)	Illite (traces)
0.1 - 0.2	Illite (intermediate)	Kaolinite	Illite

		Montmorillonite	Quartz (traces)
0.2 – 2.0	Kaolinite	Illite Mica (intermediate) Micas Halloysite	Quartz Montmorillonite Feldspar
2.0 – 11.0	Micas Illites	Quartz Kaolinite	Halloysite (traces) Montmorillonite (traces)

Sumber : Hunt, R.E (1984)

### 2.3.2 Pengaruh kadar air terhadap perilaku lempung

Kandungan air sangat berpengaruh terhadap perilaku tanah berbutir halus, sehingga tingkatan plastis tanah dapat ditentukan apabila batas platis dan batas cairnya telah diketahui. Tingkat plastisitas tanah ditentukan berdasarkan Indeks Plastisitas (PI) tanah dimana,

$$PI = W_L - W_P \quad (2 - 2)$$

Dimana :

PI : Plasticity Index

$W_L$  : Liquid Limit

$W_P$  : Plastic Limit

Pengelompokkan tingkat plastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3. Pada tiap jenis tanah lempung, batas cair dan batas plastis tanah bervariasi, dan batas cair lebih besar dari batas plastis. Besaran plastisitas menunjukkan bahwa semakin besar nilai numeriknya, semakin besar terjadinya susut pada waktu proses menjadi kering.

Menurut Atterberg, yang dikutip oleh Krebs & Walker (1971), plastisitas tanah dibagi dalam empat tingkatan berdasarkan nilai Indeks Plastisitasnya (PI) yang ada dalam selang antara 0 dan lebih besar 17%. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Bila nilai  $PI = 0$ , artinya batas cair sama dengan batas plastis maka tanah tersebut non plastis, sedangkan bila nilai PI antara nol sampai dengan 7 % termasuk plastisitas rendah, nilai PI antara 7 % sampai dengan 17 % termasuk plastisitas sedang, sedangkan nilai PI lebih besar dari 17 % disebut plastisitas tinggi.

Tabel 2.2 Tingkat Plastisitas Tanah Menurut Atterberg, 1911

Indeks Plastis	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Non plastis	Pasir
$0 < PI < 7$	Rendah	Lanau
$7 < PI < 17$	Sedang	Lempung kelanauan/ Lanau kelempungan
$PI > 17$	Sangat plastis	Lempung / tanah liat

Sumber : Krebs & Walker (1971)

Lebih lanjut Krebs & Walker (1971) menyatakan bahwa konsistensi dari tanah natural, ditentukan berdasarkan harga Indeks Kecairan yang dinyatakan sebagai :

$$LI = (W_N - W_P) / PI \quad (2 - 3)$$

Dimana :

- LI : Liquidity Index
- PI : Plasticity Index
- $W_N$  : Kadar air tanah asli
- $W_P$  : Plastic Limit

Nilai LI umumnya berkisar antara nol sampai dengan 1, bila LI kecil mendekati nol artinya kadar air tanah asli mendekati kadar air plastis, sehingga tanah tersebut agak keras, sedangkan bila nilai LI mendekati 1, artinya kadar air tanah asli cukup tinggi sehingga tanah tersebut lunak.

Kadang-kadang dipakai hubungan lain yaitu Indeks Konsistensi (Indeks Kekentalan) yang didefinisikan sebagai,

$$IC = (W_L - W_N) / PI \quad (2 - 4)$$

Dimana :

- IC : Consistency Index
- PI : Plasticity Index
- $W_L$  : Liquid Limit
- $W_N$  : Kadar air tanah asli



Bila Indeks Konsistensi (IC) kecil maka kadar air tanah asli mendekati batas cair, sehingga tanah tersebut lunak, sedangkan bila IC besar maka kadar air tanah asli jauh lebih kecil dari batas cair maka tanah tersebut kental atau keras.

Konsistensi tanah lempung dapat pula ditentukan berdasarkan kekuatan kompresinya ( $q_u$ ) sebagaimana disampaikan pada Tabel 2.3, dalam tabel tersebut terlihat bahwa konsistensi dibagi menjadi 6 kategori dari sangat lunak sampai keras, yaitu antara nilai kompresibilitas ( $q_u$ ) antara nol sampai dengan lebih besar dari 4.

Tabel 2.3 Deskripsi lempung berdasarkan kompresibilitas

$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Konsistensi
< 0,25	Sangat lunak
0,25 – 0,50	Lunak
0,50 – 1,00	Sedang
1,00 – 2,00	Kaku
2,00 – 4,00	Sangat kaku
> 4,00	Keras

*Sumber : Terzaghi & Peck (1967)*

Perbedaan nilai numerik yang penting antara LI dengan IC adalah pada LI apabila tanah di lapangan mempunyai kadar air natural yang lebih besar dari batas plastis dan pada IC kadar air lebih kecil dari batas cair (Bowles, 1986).

### 2.3.3 Karakteristik lempung ekspansif

Lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada di dalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya sedangkan daya dukungnya akan meningkat.

Untuk konstruksi seperti jalan raya, kondisi ini akan sangat menimbulkan masalah, perkerasan akan retak, turun, bergelombang, bahkan bisa sampai patah jika tipe perkerasannya kaku (*Rigid Pavement*).

Perilaku dan sifat-sifat lempung sangat bergantung pada komposisi mineral-mineralnya, unsur-unsur kimianya, tekstur lempung, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya. Untuk memahami sifat dan perilaku lempung diperlukan pengetahuan tentang tanah lempung ekspansif dan mineral lempung.

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorilonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ), namun demikian ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya, yaitu :

- a. Mineral Montmorilonite, mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi, sehingga tanah lempung yang mengandung mineral ini akan mempunyai potensi pengembangan yang sangat tinggi.

Rumus kimia mineral Montmorilonite adalah  $\text{Al Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

- b. Mineral Illite, mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang sedang sampai tinggi, sehingga material lempung yang mengandung mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang medium.

Rumus kimia mineral Illite adalah  $\text{K}_y\text{Al}_2(\text{FeMg}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_{4-y}\text{Al}_y\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ .

- c. Mineral Kaolinite, mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan mempunyai sifat pengembangan yang lebih kecil.

Rumus kimia untuk mineral ini adalah  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Ukuran partikel mineral lempung dan kapasitas pertukaran Kation digambarkan dalam Tabel 2.4 yang dikutip dari *Chen (1975)*.

Tabel 2.4 Rentang kapasitas pertukaran Kation dari mineral lempung

URAIAN	KAOLINITE	ILLITE	MONMORILLONITE
TEBAL PARTIKEL	0,5 - 2 microns	0,003 - 0.1 microns	< 9,5 Å
DIAMETER PARTIKEL	0,5 - 4 microns	0,5 - 10 microns	0,05 - 10 microns
SPESIFIK PERMUKAAN ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )	10 - 20	65 - 180	50 - 840
KAPASITAS PERTUKARAN	3 - 15	10 - 40	70 - 80

KATION			
--------	--	--	--

Sumber : Chen(1975)

#### 2.3.4 Identifikasi tanah ekspansif

Identifikasi tanah ini sangat berhubungan dengan hasil pengujian laboratorium dan pengujian lapangan serta tingkat pengembangannya. Untuk melakukan identifikasi dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu : cara tidak langsung dan cara langsung.

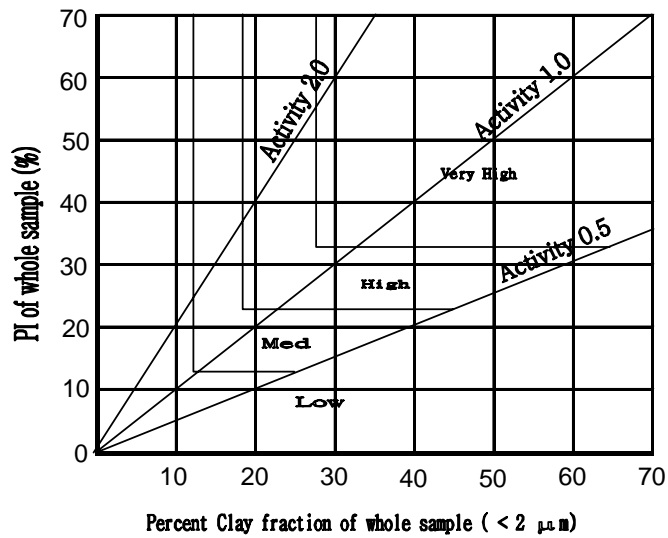
Cara langsung adalah dengan mengukur susut dari contoh tanah yang ada, sedangkan cara tidak langsung adalah dengan melakukan analisis dari parameter-parameter tanah antara lain, batas-batas Atterberg dan aktivitas.

Beberapa cara identifikasi tanah ekspansif dengan cara tidak langsung antara lain sebagai berikut :

##### a. *Cara Van Der Merwe (1964)*

Dengan menggunakan Plasticity Index (PI) dan prosen fraksi lempung (CF), tanah dapat digolongkan dalam aktivitas kelas rendah (*low*), kelas sedang (*medium*), dan kelas tinggi (*high*).

Gambar 2.3 menunjukkan grafik hubungan antara Plasticity Index (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF) yang lebih kecil dari 2  $\mu\text{m}$ .



Sumber : Van Der Merwe (1964)

Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Plastiscity Index dan Prosentase Fraksi Lempung

**b. Cara Holz dan Gibbs (1956)**

Cara ini menyajikan kriteria untuk memperkirakan potensial pengembangan tanah tak terganggu dengan pembebanan sebesar 6,9 kPa.

Tabel 2.5 menunjukkan hubungan antara pengembangan dengan parameter-parameter tanah, antara lain Plasticity Index, Shrinkage Limit, Colloid Content, dan kemungkinan perubahan volume.

Tabel 2.5 Korelasi Indeks uji dengan tingkat pengembangan

Data dari Indeks Tests			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan volume)	Tingkat Pengembangan
Colloid Content (%)	Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)		
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat tinggi
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	Tinggi
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 20	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber : Holz & Gribbs (1956)

**c. Cara Chen (1988)**

Ada dua cara yang dikemukakan Chen dalam melakukan identifikasi tanah ekspansif, yaitu: cara pertama, Chen mempergunakan indeks tunggal, yaitu Plasticity Index (PI). Sedangkan cara kedua, Chen mempergunakan korelasi antara fraksi lempung lolos saringan no. 200, batas cair (LL), dan nilai N dari hasil uji Standart Penetration Test (SPT).

Tabel 2.6 menunjukkan hubungan antara harga PI dengan potensi pengembangan yang dibagi menjadi 4 kategori, yaitu: potensi pengembangan rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Tanah ekspansif dengan tingkat pengembangan tinggi sampai sangat tinggi yaitu nilai Plasticity Index  $> 35\%$ .

Tabel 2.6 Korelasi nilai Indeks Plastisitas (PI) dengan tingkat pengembangan

Indeks Plastisitas ( PI ) (%)	Potensi Pengembangan
0 - 15	Rendah
10 - 35	Sedang
20 - 55	Tinggi
$> 55$	Sangat tinggi

Sumber : Chen (1988)

Sedangkan pada Tabel 2.7 menunjukan korelasi antara tingkat pengembangan dengan prosentase lolos saringan no. 200, Liquid limit, N hasil uji SPT, dan kemungkinan pengembangan. Tanah ekspansif dengan tingkat pengembangan tinggi sampai sangat tinggi dengan nilai Liquid Limit lebih besar dari 40% dan lebih besar dari 60% lolos saringan no. 200.

Tabel 2.7 Korelasi data lapangan dan laboratorium dengan tingkat pengembangan

Data lapangan dan laboratorium			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan volume total)	Tingkat Pengembangan
Prosentase lolos saringan no. 200	LL (%)	N (pukulan / ft)		
$> 95$	$> 60$	$> 30$	$> 10$	Sangat tinggi
60 - 95	40 - 60	20 - 30	3 - 10	Tinggi
30 - 60	30 - 40	10 - 20	1 - 5	Sedang
$< 30$	$< 30$	$< 10$	$< 5$	Rendah

Sumber : Chen (1988)

#### d. Cara Skempton (1953)

Skempton mengidentifikasi tanah ekspansif dengan activity, yaitu perbandingan antara harga Plasticity Index (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF), dengan persamaan :

$$A_C = PI / CF \quad (2 - 5)$$

Dimana :

- $A_C$  : Activity  
 $PI$  : Plasticity Index  
 $CF$  : Prosentase lolos saringan no. 200

Tabel 2.8 menunjukkan korelasi antara potensi pengembangan dengan nilai activity. Tanah ekspansif bila nilai activity ( $A_C$ ) > 1,25%.

Tabel 2.8 Korelasi Nilai Activity dengan Potensi Pengembangan

Nilai Activity ( $A_C$ )	Tingkat keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Tidak aktif	Rendah
$0,75 < A_C < 1,25$	Normal	Sedang
> 1,25	Aktif	Tinggi

Sumber : Skempton (1953)

*e. Seed dan kawan-kawan (1962)*

Cara ini mempergunakan activity Skempton yang dimodifikasi, yaitu :

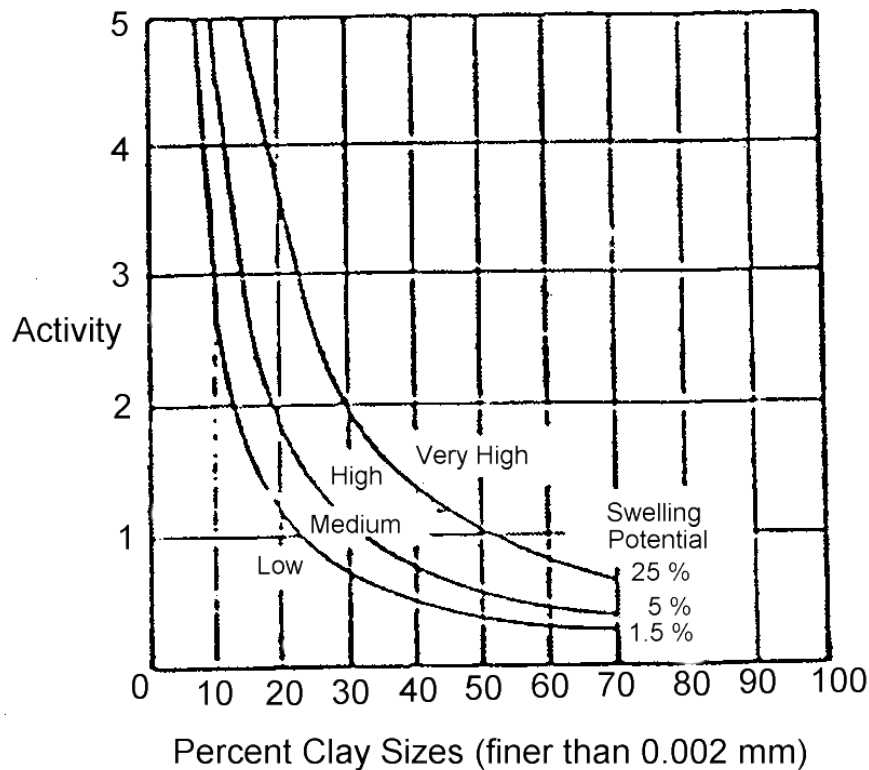
$$A_C = PI / (CF - 10) \quad (2 - 6)$$

Dimana :

- $A_C$  : Activity  
 $PI$  : Plasticity Index (%)  
 $CF$  : Prosentase lolos saringan no. 200 (%)

Angka 10 adalah faktor reduksi

Gambar 2.4 menunjukkan grafik hubungan antara prosentase lempung lolos saringan no. 200 dan activity serta potensial Swelling. Tanah ekspansif dengan activity lebih besar dari 1,25% (very high) dan prosentase lolos saringan no. 200.



Sumber : Seed, dkk (1962)

Gambar 2.5

Grafik Hubungan antara Prosentase Lempung dan Aktivitas

### 1.11 Karakteristik Pasir

Secara partikel, ukuran partikel pasir besar dan sama atau seragam, bentuknya bervariasi dari bulat sampai persegi. Bentuk-bentuk yang dihasilkan dari abrasi dan pelarutan adalah sehubungan dengan jarak transportasi sedimen.

Perilaku terjadinya massa disebabkan oleh jarak pori di antara butiran masing-masing yang bersentuhan.

Mineral pasir yang lebih dominan adalah kwarsa yang pada dasarnya stabil, lemah dan tidak dapat merubah bentuk. Pada suatu saat, pasir dapat meliputi granit, magnetit dan *hornblende*. Karena perubahan cuaca di mana akan cepat terjadi pelapukan mekanis dan terjadi sedikit pelapukan kimiawi, mungkin akan ditemui mika, *feldspar* atau *gypsum*, tergantung pada batuan asal.

Secara permeabilitas, pasir merupakan material yang mempunyai permeabilitas tinggi, mudah ditembus air.

Kapilaritas pasir dapat dikatakan rendah, sehingga dapat diabaikan.

Kekuatan hancur pasir diperoleh dari gesekan antar butiran. Dan berkenaan dengan kekuatan hancur, perlu diperhatikan bahwa pada pasir lepas sedikit tersementasi dapat menyebabkan keruntuhan struktur tanah.

Dalam hal kemampuan berdeformasi, pasir bereaksi terhadap beban cepat seperti tertutupnya pori-pori dan padatnya butiran akibat pengaturan kembali. Deformasi atau perubahan bentuk pasir pada dasarnya plastis, dengan beberapa pemampatan elastis yang terjadi di dalam butiran-butiran. Jumlah pemampatan dihubungkan dengan gradasi kerapatan relatif dan besarnya tegangan yang bekerja. Kepekaan dan terjadinya kerapatan pasir disebabkan getaran keras dan material-material yang siap dipadatkan. Kehancuran dapat terjadi pada butiran-butiran pada saat tegangan-regangan yang bekerja relatif rendah.

Pada Tabel 2.9 di bawah ini ditampilkan perbandingan sifat-sifat mekanis tanah lempung dan pasir, dipandang dari kebutuhan untuk konstruksi badan jalan maka kedua material tersebut masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan.

Tabel 2.9 Sifat-sifat Mekanis Tanah Lempung dan Pasir

Sifat-sifat	Pasir	Lempung
<b>Sifat-sifat Hidrolis</b>		
Permeabilitas	Sangat tinggi sampai tinggi	Sangat rendah sampai tidak dapat ditembus (kedap)
Kapilaritas	Dapat diabaikan	Sangat tinggi
Kepekaan pencairan	Nol sampai tinggi pada pasir	Tidak



	halus	
<b>Sifat-sifat Kekuatan</b>		
Asal mula	Gesekan diantara butiran $\phi$	Drained: $\phi$ dan c; undrained: Su
Kuat relative	Tinggi sampai sedang	Tinggi sampai sangat rendah
Kepekaan	Tidak	Rendah sampai sangat tinggi
Formasi runtuh	Kurang terikat	Porus
<b>Sifat-sifat</b>	<b>Pasir</b>	<b>Lempung</b>
<b>Sifat-sifat Deformasi</b>		
Besarnya (dengan beban sedang)	Rendah sampai sedang	Sedang sampai tinggi
Kemampuan untuk dipadatkan	Memuaskan	Kesulitan sedang
Pengembangan akibat pembasahan	Tidak	Sedang sampai tinggi
Penyusutan pada pengeringan	Tidak	Sedang sampai tinggi

Sumber : Hendarsin (2003)

## 1.12 Stabilisasi Tanah

Definisi stabilisasi tanah adalah upaya untuk merubah tanah menjadi lebih stabil. Definisi lain yang senada mengatakan bahwa stabilisasi tanah adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan cara menambahkan sesuatu pada tanah tersebut. Stabilitas tanah diukur dari perubahan sifat – sifat teknis tanah antara lain : kekuatan, kekakuan, pemampatan, permeabilitas, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air.

Bowles (1986) membagi jenis stabilisasi tanah menjadi salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut ini:

- Stabilisasi mekanis yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas, benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan, dan lain-lain.
- Stabilisasi dengan bahan pencampur (aditif) misalnya kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir kasar, dan pencampur kimiawi seperti semen portland, gamping, abu batubara, dan lain-lain.

Stabilisasi tanah itu ditunjukkan untuk memperbaiki sifat tanah sampai dapat mendukung bangunan yang direncanakan di atas tanah tersebut. Kondisi lapisan tanah diberbagai tempat sangat berbeda-beda dan kompleks. Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi pemanfaatan suatu lapisan tanah sebagai material atau bahan lapis pondasi atau sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) untuk jalan.

Pada umumnya kondisi tanah yang ada tidak selalu memenuhi kriteria atau spesifikasi perencanaan, baik sebagian maupun seluruhnya, sehingga perlu diadakan modifikasi dengan merubah perencanaan yang ada. Ingels dan Metcalf (1972) menyebutkan tiga alternatif penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan, yaitu:

1. Menggunakan material yang tersedia di lapangan dan merencanakan bangunan sesuai dengan kualitas tanah yang ada.
2. Mengangkat material yang ada dan menggantikannya dengan material yang lebih baik atau perbaikan tanah yang memenuhi perencanaan.
3. Melakukan modifikasi pada material yang tersedia sehingga menghasilkan material dengan kualitas yang memenuhi standar perencanaan yang telah ditetapkan.

Menurut Kedzy (1979), stabilisasi adalah usaha meningkatkan kekuatan geser tanah sehingga memenuhi syarat yang diinginkan dan stabilisasi tersebut tergantung dari kondisi cuaca.

Stabilisasi selalu berhubungan dengan pencampuran ulang atau penambahan campuran bahan-bahan tertentu serta pemadatan campuran tersebut. Stabilisasi juga berarti menghasilkan material baru yang lebih tahan terhadap perubahan cuaca dan pengaruh beban lalu lintas.

Secara umum ada beberapa karakteristik utama tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah, yaitu: (Ingels dan Metcalf, 1972)

1. Stabilisasi volume

Perubahan volume sangat erat hubungannya dengan kadar air. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami susut dan kembang karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya, dimana perubahan kadar air sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut misalnya retak-retak pada musim kemarau dan mengembang pada musim hujan. Masalah ini biasanya diatasi dengan waterproofing dengan berbagai bahan seperti bitumen, dan lain-lain.

Bertambahnya kemampuan menyusut dan mengembang bergantung dari faktor lingkungan dan mineralogi seperti:

- Distribusi partikel
- Kadar air mula-mula
- Tekanan

## 2. Kekuatan

Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah adalah dengan percobaan kuat geser dan daya dukung tanah. Hampir semua jenis stabilisasi berhasil mencapai tujuan ini, namun pada tanah organik hal ini sulit dicapai, jadi lapisan tanah organik (*top soil*) sebaiknya dibuang seluruhnya.

Pelaksanaan pemadatan yang baik terbukti bermanfaat meningkatkan kekuatan tanah untuk bermacam-macam stabilisasi yang diterapkan, dengan demikian hampir semua jenis stabilisasi bertujuan meningkatkan stabilisasi volume sekaligus meningkatkan kekuatan tanah.

## 3. Permeabilitas

Biasanya untuk rentang harga normal dari kadar air, batas plastis dan batas cair, besaran permeabilitas akan lebih kecil dari  $1 \times 10^{-10}$  cm/sec, misalnya pada Montmorillonite. Pada umumnya untuk lempung asli berkisar antara  $1 \times 10^{-6}$  sampai  $1 \times 10^{-8}$  cm/sec. Bergantung dari jumlah mineral lempung yang paling dominan, maka harga permeabilitas mineral Montmorillonite < Attapulgite, Attapulgite < Illite, dan Illite < Kaolinite.

Untuk lempung, permeabilitas yang terjadi disebabkan pori-pori mikro (*micropore*). Permeabilitas pada umumnya diakibatkan oleh timbulnya tekanan air dan terjadinya aliran perembesan (*seepage flow*), sedangkan pada tanah lempung yang permeabilitasnya tinggi disebabkan pelaksanaan pemadatan yang kurang baik.

#### 4. Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi dan kondisi lalu lintas di atasnya. Pada tanah yang distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya disebabkan oleh pemilihan jenis jenis stabilisasi yang keliru, bahan yang tidak sesuai atau karena masalah cuaca. Pengetesan untuk mengetahui ketahanan material terhadap cuaca sampai sekarang masih sulit dihubungkan dengan keadaan sebenarnya di lapangan, maka dipilih jenis atau bahan stabilisasi yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Secara umum apabila dihadapi tanah yang kualitasnya kurang baik, misalnya: nilai CBRnya rendah, daya dukung tanahnya kecil atau stabilisasi lerengnya rendah, maka persoalan ini dapat dicoba dengan menyesuaikan bangunan dengan kondisi tanah/parameter tanah yang ada. Tanah sendiri terdiri dari lempung, lanau dan pasir kelempungan.

#### 5. Kompresibilitas

Kompresibilitas bergantung dari kandungan mineral lempung, umumnya kompresibilitas membesar dengan urutan mineral Kaolinite < Illite, dan Illite < Montmorillonite. Besarnya kemampuan suatu mineral lempung dipengaruhi oleh komposisi tanah (soil fabric dan soil structure), serta koefisien konsolidasi ( $C_v$ ). Seperti diketahui harga  $C_v$  sebanding dengan permeabilitas dan berbanding terbalik dengan koefisien pemampatan  $a_v$ .

Besarnya indeks kompresi ( $C_c$ ) dan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) dari beberapa mineral lempung dapat dilihat pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 Harga  $C_c$  dan  $C_v$  dari beberapa mineral lempung

Mineral	$C_c$	$C_v$
Montmorillonite	1.00 – 2.60	$0.06 \times 10^{-4}$ – $0.3 \times 10^{-4}$
Illite	0.50 – 1.00	$0.3 \times 10^{-4}$ – $2.4 \times 10^{-4}$

Kaolinite	0.19 – 0.28	$12 \times 10^{-4} - 90 \times 10^{-4}$
-----------	-------------	---

Sumber : Cornell (1951)

### 2.5.1 Stabilisasi lempung

Lempung yang mempunyai sifat pengembangan tinggi sangat banyak terdapat di alam, pengembangan lempung ini terjadi ketika kadar air bertambah dari nilai referensinya, dan penyusutan terjadi ketika kadar air berada di bawah nilai referensinya sampai kepada batas susut. Biasanya suatu tanah lempung dapat diperkirakan akan mempunyai perubahan isi yang besar (mengembang), apabila Plasticity Index  $\geq 20$  (Soedarmo & Poernomo, 1997), lempung demikian disebut lempung ekspansif.

Telah banyak upaya dan metode dipakai untuk mengatasi masalah tanah ekspansif ini. Karena sifat, jenis, dan karakternya berbeda-beda maka metode untuk mengatasinya juga berbeda .

Metode stabilisasi tersebut antara lain :

- Prewetting
- Pengantian tanah
- Pencampuran dan pemadatan
- Pembebanan
- Stabilisasi dengan bahan kimia
- Pembatasan lahan

Stabilisasi tanah lempung dengan bahan pencampur seperti semen, kapur dan bahan kimia sudah umum digunakan, dimana bahan pencampur selalu tersedia. Pada penelitian ini, bahan pencampur yang digunakan adalah pasir. Hal ini dilakukan dengan prinsip perbaikan gradasi tanah seperti yang telah diungkapkan pada bab sebelumnya.

Pelaksanaan stabilisasi di laboratorium, umumnya dilakukan dengan cara percobaan pemadatan *Proctor Standard*. Campuran tanah asli dengan bahan aditif dipadatkan pada kadar air optimum dengan pemadatan *Proctor Standard*, namun dalam penelitian ini mempergunakan metode pemadatan *Modified Proctor*. Sedangkan cara yang lain adalah dengan mencampur tanah dengan bahan aditif pada batas cair ataupun pada batas plastis dengan proses pemadatan.

Pemadatan tanah di lapangan seperti tanah timbunan untuk jalan raya, lapangan terbang, dam tanah dan banyak struktur lainnya, tanah yang lepas haruslah dipadatkan untuk meningkatkan kepadatan keringnya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga akan meningkatkan daya dukung. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan

lereng timbunan. Sebelum pelaksanaan pemadatan di lapangan, tanah harus dilakukan tes terlebih dahulu di laboratorium, yang digunakan sebagai referensi dalam pelaksanaan di lapangan.

### 2.5.2 Stabilisasi tanah dengan penyesuaian gradasi

Tujuan stabilisasi ini untuk memperoleh kekuatan mekanis atau stabilitas jangka panjang. Stabilisasi tanah dengan penyesuaian gradasi telah dikembangkan terutama untuk memperkuat lapisan dasar badan jalan atau landasan. Dewasa ini terdapat beberapa metoda pencampuran bahan timbunan dengan distribusi gradasi yang berlainan.

Tanah yang mempunyai distribusi gradasi yang baik dapat dipadatkan sampai suatu kepadatan yang tinggi dan stabil, dalam praktek distribusi gradasi yang baik dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$P = 100 (d/D)^{1/2} \quad (2 - 7)$$

(Sumber : Purnomo, Soedarmo, 1997)

Dimana :

P = Persentase berat butir-butir yang lebih kecil dari suatu ukuran butir d (%)

d = Ukuran butir sebarang

D = Ukuran maksimum butir

Dengan kata lain, bahan-bahan tanah dengan bermacam-macam ukuran butir maksimum dapat dipadatkan sampai suatu keadaan kepadatan tinggi stabil dengan mengadakan penyesuaian distribusi gradasi, yang ditentukan dengan persamaan di atas.

Dalam praktek, meskipun distribusi gradasi tanah yang sebenar-benarnya itu terletak di atas kurva persamaan di atas, suatu keadaan yang stabil masih dapat diperoleh, jika distribusi gradasi masih terletak dalam suatu batas deviasi diatas kurva tersebut. Tabel 2.11 memperlihatkan bahan-bahan untuk lapisan dasar (*Sub Base*) badan jalan yang digunakan sebagai standar di Jepang.

Tabel 2.11 Gradasi dasar bahan kasar untuk subbase

Ukuran ayakan (mm)	Persentase bagian yang melewati ayakan dalam berat (%)
40,00	95 – 100
20,00	60 – 100
2,50	20 – 50
0,074	2 – 10

Sumber : Soedarmo & Poernomo (1997)

Catatan:

Harga CBR modifikasi campuran harus sama dengan 80 atau lebih.

PI bagian yang lewat ayakan 0,40 mm harus sama dengan 4 atau kurang

## 2.6 Studi yang Pernah Dilakukan

Terdapat beberapa studi tentang stabilisasi tanah lempung ekspansif di berbagai daerah, akan tetapi umumnya material aditif atau material penstabil yang dipergunakan bersifat kimiawi, misalnya semen, kapur, aspal emulsi, geosta, dan lain-lain, sedangkan dalam penelitian ini adalah pasir yang dijadikan material aditif. Demikian juga pada bab satu telah dijelaskan pula bahwa pada lokasi penelitian ini, telah dilakukan berbagai cara perbaikan tanah baik langsung maupun tidak langsung seperti rigid pavement, sheet pile, dinding penahan, dan lain-lain.

Beberapa penelitian tentang stabilisasi tanah yang pernah dilakukan beserta hasil penelitiannya hasilnya antara lain sebagai berikut :

- a. Studi tentang pengaruh siklus basah-kering pada potensi mengembang dan kekuatan tanah lempung ekspansif yang dicampur kapur (Siti Hardiyati, 2003), dengan hasil antara lain sebagai berikut :
  - terjadi penurunan potensi mengembang pada contoh tanah seiring dengan meningkatnya siklus berulang basah – kering (tingkat pengembangan menurun dengan kondisi basah – kering).
  - Pada benda uji tanpa campuran kapur, tingkat penurunan potensi mengembang pada setiap perulangan siklus rata-rata lebih tajam dibandingkan dengan benda uji dengan campuran kapur.
  - Penambahan kapur pada benda uji (tanah asli) mempercepat pencapaian kondisi stabil dan menambah kuat geser.
- b. Studi tentang pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap kembang susut dan daya dukung tanah ekspansif sebagai subgrade jalan (Untoro Nugroho, 2003), dengan hasil antara lain sebagai berikut :
  - Dengan penambahan 8% aspal emulsi pada campuran, harga CBR naik menjadi 8,07 % dari semula 2,745 %, dan penurunan pengembangan menjadi 1,335 % dari semula 1,825 %.
  - Dengan penambahan 8% kapur pada campuran, nilai CBR naik 31,74%, dan pengembangan turun menjadi 0 %.
  - Dengan penambahan 8% kapur dan 4% aspal emulsi, harga CBR naik 21,015%, dan pengembangan turun menjadi 0,003 %.
- c. Studi tentang stabilisasi tanah dari Barito Utara dengan semen untuk konstruksi jalan (Yoshua, 2000), dengan hasil antara lain sebagai berikut :
  - Dengan campuran 94% bagian tanah dan 6% semen, menghasilkan kenaikan harga CBR rendaman dari semula 12,37% menjadi 159,64%
  - Kenaikan harga UCS dari semula 1,013 Kg/cm<sup>2</sup> menjadi 23,19 kg/cm<sup>2</sup>

- d. Stabilitas tanah kohesif berplastisitas tinggi dengan kapur, semen, dan Geosta (Willy Lemanza, Aniek P., Hardy W., Jurusan Sipil Universitas Tarumanegara, 1994), dengan hasil sebagai berikut :
1. Harga kepadatan kering tidak berubah signifikan akibat campuran kapur, semen, atau tanah + kapur + semen.
  2. Harga CBR dari tanah kohesif campuran tanah+kapur dan tanah + kapur + Geosta A atau tanah + semen dan tanah + semen + Geosta A dengan hasil sebagai berikut :
    - Pada umur 14 hari, untuk CBR Soaked dari nilai 10% untuk tanah, naik menjadi 28% untuk tanah + kapur dan menjadi 35% untuk tanah + kapur + Geosta A
    - Pada umur 14 hari, untuk CBR Soaked dari 10% untuk tanah, menjadi 30% untuk tanah + semen , dan menjadi 29% untuk tanah + kapur + semen dan menjadi 40% untuk tanah + kapur + semen + Geosta A

Dari penelitian-penelitian tersebut di atas terlihat adanya peningkatan harga CBR dan Dry Density akibat adanya aditif, namun demikian kami belum menemukan adanya studi stabilitas tanah lunak dengan campuran pasir, sehingga kami mencoba untuk melakukan penelitian stabilisasi tanah dengan campuran pasir.



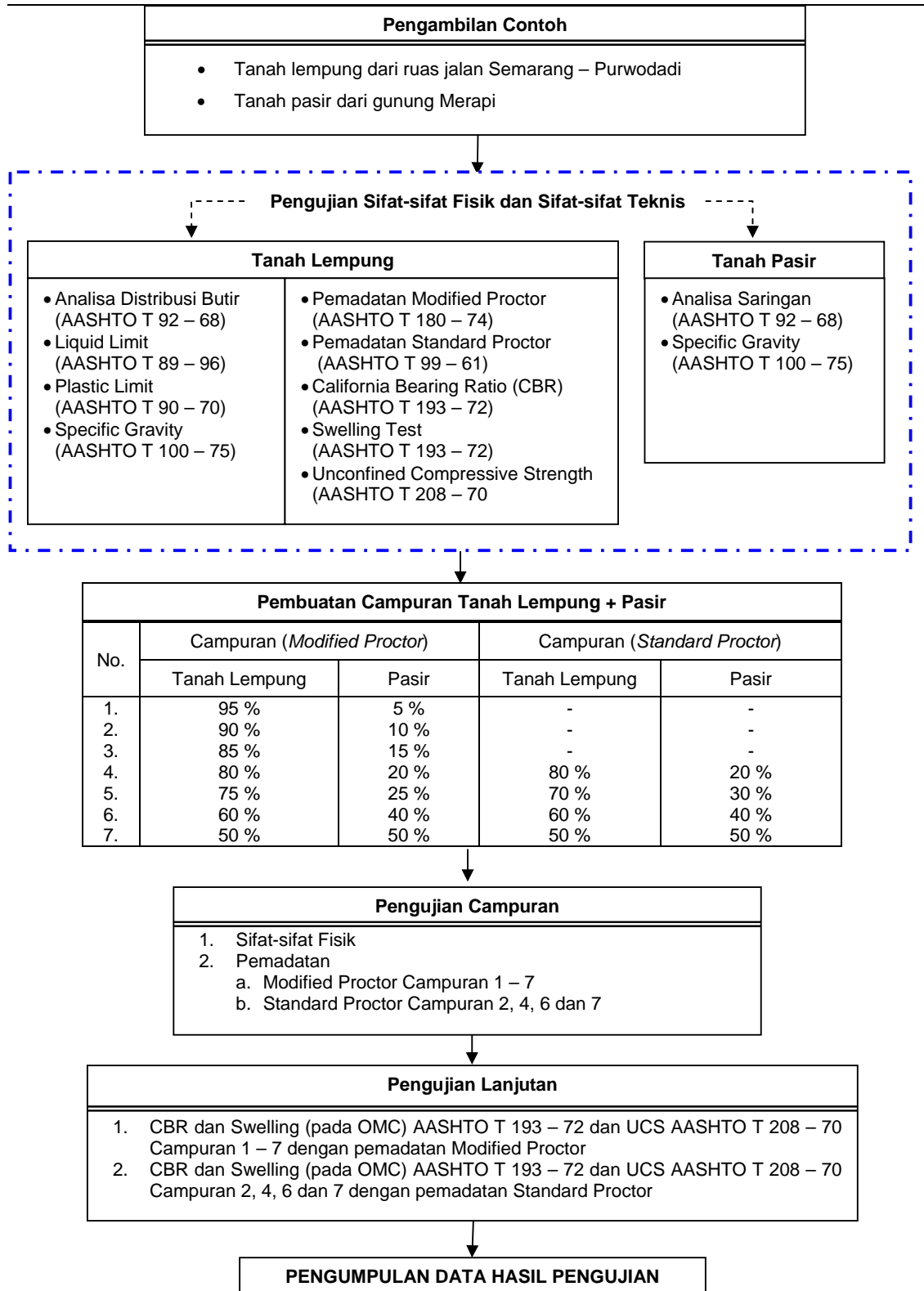
## **BAB 3**

# **METODOLOGI**

Proses penelitian disusun dalam tahapan-tahapan pengujian dengan urutan sebagai berikut :

1. Pengambilan contoh tanah lempung dan pasir.
2. Pengujian sifat-sifat tanah lempung dan pasir.
3. Pembuatan komposisi campuran antara tanah lempung dan pasir.
4. Pengujian sifat-sifat fisik dan kepadatan masing-masing komposisi campuran.
5. Pengujian California Bearing Ratio (CBR), Swelling, Unconfined Compressive Strength (UCS) masing-masing campuran pada Optimum Moisture Content (OMC).

Bagan alir kelima tahapan tersebut di atas dapat dilihat dalam Gambar 3.1, dari bagan alir tersebut terlihat bahwa urutan pengujian harus berurutan, tidak ada bagian yang dilompati. Sebagai contoh untuk melakukan pengujian California Bearing Ratio (CBR) memerlukan data test pemadatan yaitu harga Optimum Moisture Content (OMC), demikian juga untuk pengujian lainnya.



Gambar 3.1 Bagan Alir Tahapan Penelitian

### 3.1 Pengambilan Contoh Uji

### **3.1.1 Contoh tanah lempung**

Contoh tanah lempung diambil dari satu lokasi di tepi jalan Semarang – Purwodadi pada Km Smg. 49+000. pada kedalaman 0,50 – 1,00 meter dengan cara mencangkul (*Disturbed Sample*) sebanyak 750 kg.

Pada saat penggalian contoh, diamati secara visual dan dicatat jenis tanah, warna tanah, dan tinggi muka air tanah bila pada kedalaman galian sudah terlihat.

Contoh tanah kemudian dijemur sampai kering udara, gumpalan-gumpalan tanah dipecah dengan palu karet kemudian disaring dengan saringan no. 4.

Contoh yang dipergunakan adalah yang lolos saringan no.4, dimaksudkan agar pengujian dibebaskan dari gumpalan tanah yang lebih besar saringan no.4.

### **3.1.2 Contoh tanah pasir**

Contoh pasir diambil dari satu lokasi di sekitar gunung Merapi, Kecamatan Muntilan Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah, tepatnya pada tepi sungai Krasak sebanyak 200 kg.

Contoh kemudian dijemur sampai kering udara diayak dengan ayakan no. 4, dan contoh yang dipergunakan sebagai bahan pengujian adalah contoh yang lolos saringan no. 4.

## **3.2 Pengujian Contoh Tanah**

Contoh tanah lempung yang telah diproses seperti butir 3.1.1 di atas, dilakukan pengujian sebagai berikut :

- 1) Sifat-sifat fisik, meliputi ; Analisa Distribusi Butir, Plastic Limit, Liquid Limit, Shrinkage Limit, dan Specific Gravity.
- 2) Sifat-sifat teknis, yaitu : pemadatan dengan metode *Modified Proctor* sehingga diperoleh harga Optimum Moisture Content (OMC) dan kepadatan kering maksimum.

Test California Bearing Ratio (CBR), Swelling, dan Unconfined Compressive Strength (UCS) dilakukan pada kondisi kadar air optimum (OMC).

Contoh tanah pasir yang telah diproses seperti butir 3.1.2 di atas, dilakukan pengujian Analisa Saringan dan Specific Gravity.

Data hasil percobaan ini dipergunakan sebagai pembanding terhadap data hasil uji tanah campuran yang akan dilakukan kemudian.

### 3.3 Pembuatan Campuran Tanah Lempung dan Pasir

Contoh tanah lempung yang sudah dijemur sampai kering udara dan bebas dari gumpalan yang lebih besar dari saringan no.4, dicampur dengan pasir kering udara dan lolos saringan no. 4, campuran dibuat dalam 5 komposisi, masing-masing komposisi ditetapkan seberat 80 kg untuk pengujian sifat-sifat teknis dan 5 kg untuk pengujian sifat-sifat fisik dengan rincian campuran seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.1 Rencana Campuran Tanah Lempung dan Pasir untuk Pengujian Sifat-sifat Teknis

No. Contoh	Tanah Lempung		Tanah Pasir		Berat Campuran (kg)	Penamaan
	Prosentase (%)	Berat (kg)	Prosentase(%)	Berat (kg)		
1.	95	76	5	4	80	Komposisi A
2.	90	72	10	8	80	Komposisi B
3.	85	68	15	12	80	Komposisi C
4.	80	64	20	16	80	Komposisi D
5.	75	60	25	20	80	Komposisi E
6.	60	48	40	32	80	Komposisi F
7.	50	40	50	40	80	Komposisi G

Tabel 3.2 Rencana Campuran Tanah Lempung dan Pasir untuk Pengujian Sifat-sifat Fisik

No. Contoh	Tanah Lempung		Tanah Pasir		Berat Campuran (kg)	Penamaan
	Prosentase (%)	Berat (kg)	Prosentase(%)	Berat (kg)		
1.	95	4,75	5	0,25	5	Komposisi A
2.	90	4,50	10	0,50	5	Komposisi B
3.	85	4,25	15	0,75	5	Komposisi C
4.	80	4,00	20	1,00	5	Komposisi D
5.	75	3,75	25	1,25	5	Komposisi E
6.	60	3,0	40	2,00	5	Komposisi F
7.	50	3,25	50	2,50	5	Komposisi G

### 3.4 Pengujian Sifat-sifat Fisik dan Pemadatan Tanah Campuran

Untuk mengetahui perubahan sifat-sifat fisik dan pemadatan akibat adanya campuran pasir pada tanah lempung, maka pada campuran dilakukan pengujian sifat-sifat fisik sebagai berikut :

- a) Contoh campuran komposisi A sampai G dengan berat masing-masing 5 kg dilakukan pengujian :
  - Analisa distribusi butir (AASHTO T 92 - 68)
  - Liquid Limit (AASHTO T 89 - 96)
  - Plastic Limit (AASHTO T 90 - 70)
  - Shrinkage Limit

Dari kelima pengujian tersebut, dapat dilihat perubahan sifat-sifat tanah akibat adanya perubahan gradasi.

- b) Contoh campuran komposisi A sampai G dengan berat masing-masing 7 x 5 kg dilakukan test pemadatan dengan metode *Modified Proctor* (AASHTO T 180 - 74).

Dari pengujian ini diperoleh 7 harga Optimum Moisture Content (OMC) dan 7 harga kepadatan kering maksimum, jadi setiap komposisi campuran mempunyai harga OMC yang kemungkinan berbeda dengan komposisi lainnya.

Harga OMC dari masing-masing komposisi ini dipergunakan sebagai dasar untuk pengujian California Bearing Ratio (CBR), Swelling, dan Unconfined Compressive Strength (UCS).

- c) Contoh tanah komposisi B, D, F dan G dilakukan test pemadatan dengan metode *Standard Proctor* (AASHTO T 99 - 61) sehingga diperoleh 4 harga OMC.

Pada kondisi OMC tersebut dibuat contoh yang dipadatkan dengan metode *Standard Proctor* kemudian dilakukan tes CBR, Swelling Test dan UCS.

### 3.5 Pengujian California Bearing Ratio (CBR), Swelling, dan Unconfined Compressive Strength (UCS) Tanah Campuran yang dipadatkan dengan Metode *Modified Proctor*

#### 1) Pengujian California Bearing Ratio ( CBR )

- a. Contoh tanah dari 7 (tujuh) komposisi campuran masing-masing disiapkan sebanyak 4 x 5 kg, sehingga seluruhnya menjadi 7 x 20 kg.
- b. Setiap komposisi campuran (4 buah contoh) kadar airnya diatur sehingga sama dengan kadar air optimum (yang diperoleh dari test pemadatan) dengan cara menambah kadar air.
- c. Tanah pada masing-masing komposisi dipadatkan dengan metode *Modified Proctor*, kemudian 2 contoh dilakukan test California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked dan 2 contoh direndam selama 4 hari untuk test CBR Soaked.

#### 2) Pengujian Swelling, pengukuran pengembangan dilakukan pada saat contoh untuk test CBR Soaked (butir c di atas) direndam selama 4 hari, dalam kurun waktu tersebut dilakukan pengukuran pengembangan secara periodik.

#### 3) Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS)

- a. Contoh tanah dari 7 komposisi campuran masing-masing disiapkan sebanyak 2 x 5 kg, jadi seluruhnya 7 x 10 kg.
- b. Setiap komposisi campuran, kadar airnya diatur (ditambah) sehingga sama dengan kadar air optimum dari test pemadatan.
- c. Setiap contoh tanah pada kadar air optimum tersebut dipadatkan dengan metode *Modified Proctor*.

Contoh untuk test UCS dicetak dengan *mold* (terhadap contoh yang sudah dipadatkan), sehingga berbentuk tabung dengan diameter 5 cm dan tinggi 12 cm, perbandingan antara tinggi (h) dan diameter (d) adalah  $2 < h/d < 3$  (Joseph E. Bowles, 1970).

- d. Dilakukan test UCS pada masing-masing contoh tanah (14 contoh dari 5 komposisi), pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan kepada contoh secara perlahan dengan kecepatan penurunan (tekanan) sebesar 0,5% - 2,0% per menit sampai contoh mengalami keruntuhan.
- e. Dibuat grafik hubungan antara penurunan dan perlawanan (tegangan – regangan ) dari setiap contoh uji.

**3.6 Pengujian California Bearing Ratio (CBR), Swelling, dan Unconfined Compressive Strength (UCS) Tanah Campuran yang dipadatkan dengan Metode Standard Proctor**

Contoh tanah dengan komposisi B, D, F dan G dipadatkan dengan metode pemadatan *Standard Proctor*, kemudian dilakukan pengujian

- 1) Pengujian California Bearing Ratio (CBR), dengan cara yang sama dengan butir 3.5.1.
- 2) Pengujian Swelling dengan cara yang sama dengan butir 3.5.2
- 3) Pengujian UCS, dengan cara yang sama dengan butir 3.5.3

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 1.13 Hasil Penelitian

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang diambil dari tepi jalan Semarang – Purwodadi kilometer 40.050 Kabupaten Purwodadi Propinsi Jawa Tengah pada kedalaman 2,00 – 2,50 m di bawah permukaan jalan seperti terlihat pada Gambar 4.1. Sedangkan bahan stabilisasi (pasir) berasal dari Gunung Merapi dan diambil pada lahan penambangan di Kecamatan Muntilan Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah.

Hasil penelitian secara detail terdapat pada lampiran A sampai dengan Lampiran F dan uraian secara garis besar adalah sebagai berikut:

#### 4.1.1 Tanah

Hasil penelitian laboratorium mengenai karakteristik tanah asli meliputi batas-batas Atterberg, analisa distribusi butiran, kepadatan, kadar air optimum, berat jenis, CBR dan nilai kembang-susut (*swelling*) seperti pada Tabel 4.1. Sedangkan hasil percobaan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A sampai dengan Lampiran E.

Tabel 4.1 Karakteristik Tanah Asli

PEMERIKSAAN	NILAI
Batas cair	109%
Batas plastis	31%
Indeks plastisitas (PI)	78%
Pasir	5%
Lempung (lolos saring # 200)	95%
Lempung (fraksi < 0,002 mm)	52%
Kepadatan kering maksimum (MDD)	1,53 gr/cm <sup>3</sup>
Kadar air optimum (OMC)	25,5%
Berat jenis	2,58
CBR <i>unsoaked</i>	31,5%
CBR <i>soaked</i>	1,3%
<i>Swelling potential</i>	13,5%





Gambar 4.1 Photo Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

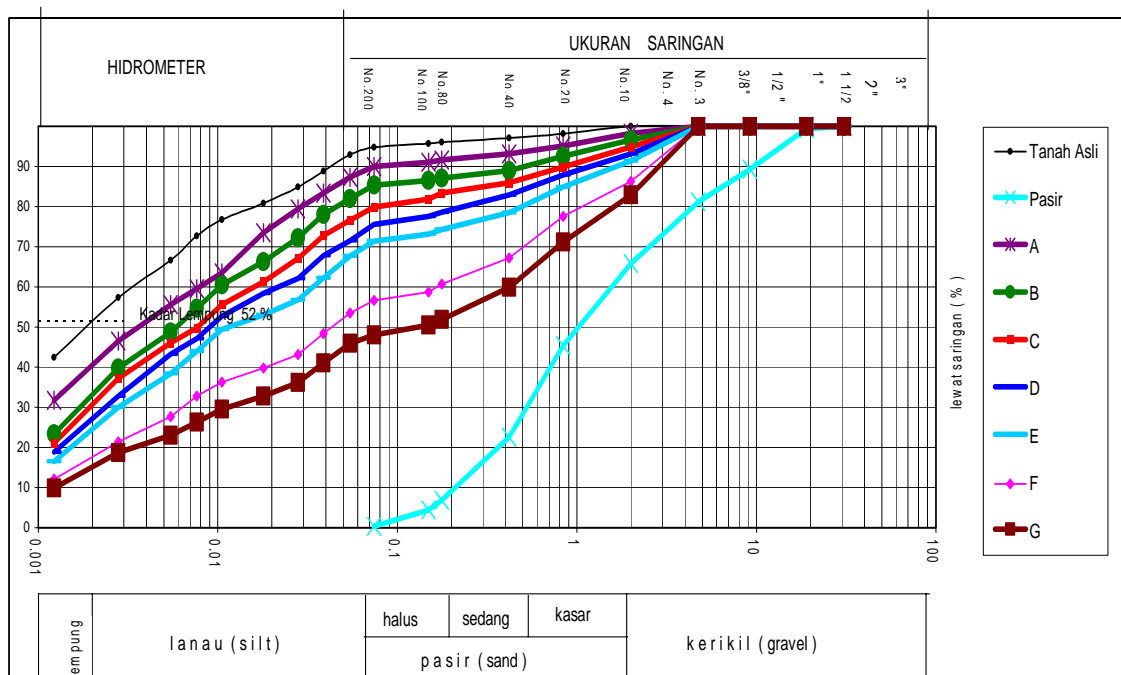
Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 adalah tabel dan grafik distribusi butiran tanah.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli

Saringan	Berat tertahan	Jumlah Berat Tertahan	P e r s e n t a s e		Persentase Lewat Terhadap Seluruh Contoh
			Tertahan	Lewat	
10				100,00	100,00
20	0,92	0,92	1,84	98,16	98,16
40	0,54	1,46	2,92	97,08	97,08
80	0,49	1,95	3,90	96,10	96,10
100	0,23	2,18	4,36	95,64	95,64
200	0,42	2,60	5,20	94,80	94,80

Angka Lewat Saringan No. 200

Pukul	Suhu T <sup>o</sup> C	Pembacaan Hidrometer R <sub>h</sub>	Diameter D	(koreksi suhu) (k)	Pembacaan Terkoreksi R <sub>h</sub> +k	Kalibrasi a	Persentase Mengendap	Persentase Mengendap Terhadap Seluruh Contoh
9:00								
9:00:30	27,0 <sup>o</sup> C	44	0,0545	2,00	46,00	1,01	92,92	92,92
9:01	27,0 <sup>o</sup> C	42	0,0387	2,00	44,00	1,01	88,88	88,88
9:02	27,0 <sup>o</sup> C	40	0,0280	2,00	42,00	1,01	84,84	84,84
9:05	27,0 <sup>o</sup> C	38	0,0180	2,00	40,00	1,01	80,80	80,80
9:15	27,0 <sup>o</sup> C	36	0,0105	2,00	38,00	1,01	76,76	76,76
9:30	27,0 <sup>o</sup> C	34	0,0076	2,00	36,00	1,01	72,72	72,72
10:00	27,0 <sup>o</sup> C	31	0,0054	2,00	33,00	1,01	66,66	66,66
13:00	28,0 <sup>o</sup> C	26	0,0028	2,40	28,40	1,01	57,37	57,37
9:00	27,0 <sup>o</sup> C	19	0,0012	2,00	21,00	1,01	42,42	42,42



Gambar 4.2 Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah

#### 4.1.2 Bahan stabilisasi

Bahan stabilisasi adalah pasir dari Gunung Merapi yang diambil dari lokasi penambangan di Muntilan Kabupaten Magelang. Pengujian dilakukan meliputi berat jenis dan analisa distribusi butir, dengan hasil  $G_s = 2,62$  dan analisa distribusi butir seperti pada Tabel 4.3 A, B dan C serta Gambar 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pasir

**A. FRAKSI KASAR:**

Berat tanah kering : 2000 gr.

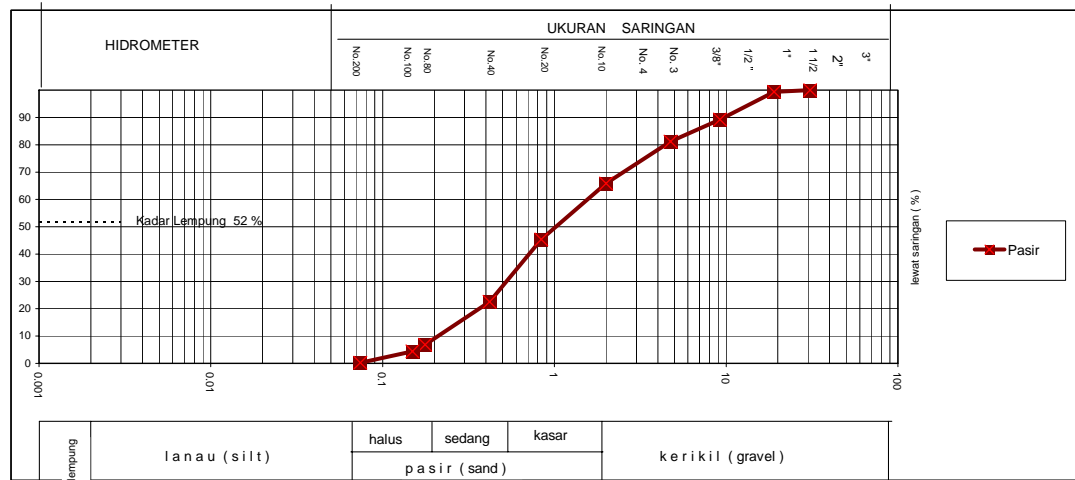
Saringan	Diatas saringan	Jumlah diatas	Persen diatas	Persen melalui
6 in	-	-	-	100
3 in	-	-	-	100
1 1/2 in	-	-	-	100
3/4 in	11,91	11,91	0,60	99,40

**B. FRAKSI SEDANG**

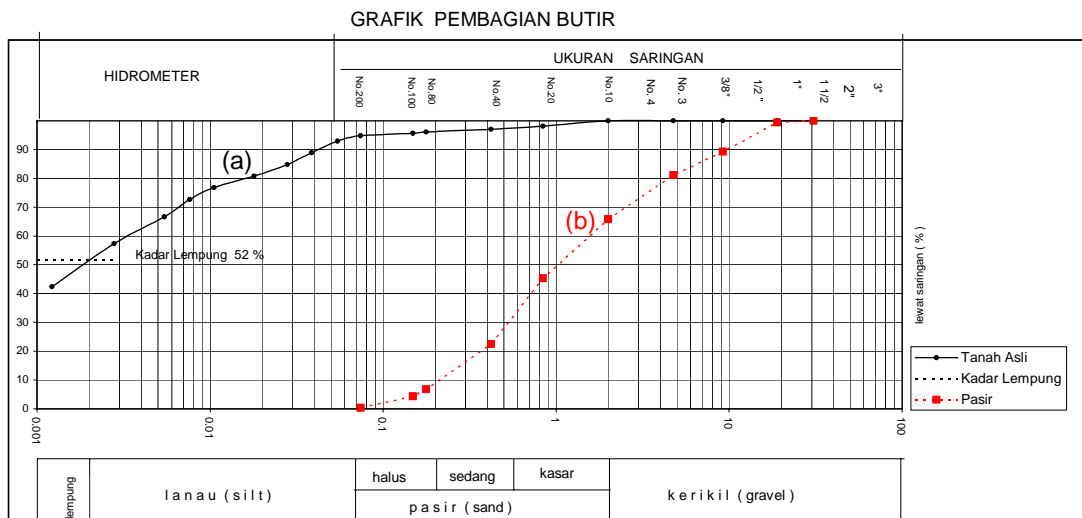
Saringan	Diatas saringan	Jumlah diatas	Persen diatas	Persen melalui	Persen seluruh contoh melalui
3/8 in	202,76	214,67	10,73	89,27	
No. 4	161,15	375,82	18,79	81,21	
No. 10	307,71	683,53	34,18	65,82	

**C. FRAKSI HALUS**

Saringan	Diatas saringan	Jumlah diatas	Persen diatas	Persen melalui	Persen seluruh contoh melalui
10					
20	408,59	1092,12	54,61	45,39	
40	456,90	1549,02	77,45	22,55	
80	314,25	1863,27	93,16	6,84	
100	48,60	1911,87	95,59	4,41	
200	82,11	1993,98	99,70	0,30	



Gambar 4.3 Kurva Distribusi Ukuran Butir Pasir



Gambar 4.4 Perbandingan Distribusi Ukuran Butir Pasir dan Tanah Asli

Gambar 4.4 menggambarkan perbandingan grafik distribusi butiran tanah asli (grafik a) dan pasir (grafik b) yang akan dilakukan pencampuran dengan berbagai komposisi.

#### 4.1.3 Campuran tanah dengan bahan stabilisasi

Beberapa pengujian dilakukan terhadap campuran tanah dan bahan stabilisasi pasir dalam berbagai variasi campuran bahan stabilisasi. Pengujian tersebut meliputi pengujian sifat mekanik yang berupa pengujian pemadatan CBR (*California Bearing Ratio*), *Unconfined Compressive Strength* (UCS) dan *Swelling*

*Potential*, serta pengujian sifat fisik yang meliputi pengujian berat jenis (*G<sub>s</sub>*), pengujian batas-batas Atterberg, indeks plastisitas dan analisa distribusi butir.

Variasi campuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran A yaitu campuran tanah asli 95% dan pasir 5%
2. Campuran B yaitu campuran tanah asli 90% dan pasir 10%
3. Campuran C yaitu campuran tanah asli 85% dan pasir 15%
4. Campuran D yaitu campuran tanah asli 80% dan pasir 20%
5. Campuran E yaitu campuran tanah asli 75% dan pasir 25%
6. Campuran F yaitu campuran tanah asli 60% dan pasir 40%
7. Campuran G yaitu campuran tanah asli 50% dan pasir 50%

Hasil dari berbagai pengujian tersebut diuraikan sebagai berikut:

#### 4.1.3.1 Pengujian sifat fisik tanah

Pengujian dari sifat fisik tanah, meliputi pengujian *specific gravity* (*G<sub>s</sub>*) dan batas-batas Atterberg dengan hasil seperti ditunjukkan pada Lampiran A sampai Lampiran B atau ringkasnya dalam Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Karakteristik tanah dalam beberapa campuran bahan stabilisasi

Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
Berat Jenis ( <i>G<sub>s</sub></i> )	2,58	2,59	2,6	2,61	2,62	2,64	2,67	2,69
Batas Cair	109	98	94	93	90	84	80	77
Batas Plastis	31	30	32	31	30	32	30	30
Indeks Plastis ( <i>IP</i> )	78	68	62	62	59	52	50	46
Persentase Lempung (%)	52	40	33	30	27	24	17	14

Dari Tabel 4.4 di atas dapat terlihat bahwa:

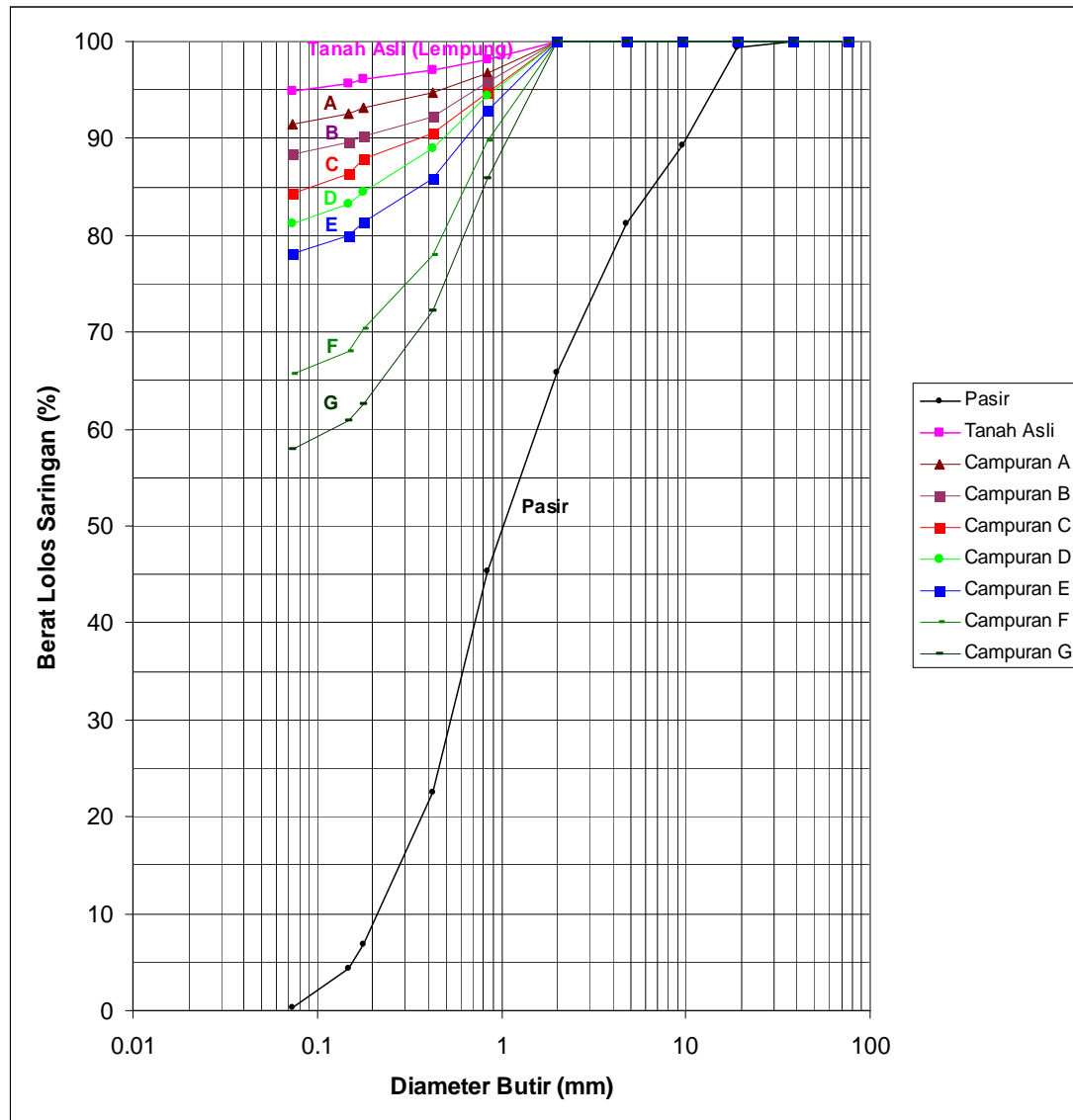
- a. Batas cair cenderung menurun dengan semakin meningkatnya prosentase campuran pasir
- b. Batas plastis cenderung tetap dengan meningkatnya prosentase pasir, dan jika berubah-ubah tidak mengalami peningkatan atau penurunan yang signifikan
- c. Indeks plastisitas cenderung menurun dengan meningkatnya prosentase pasir.

- d. Sedangkan berat jenis meningkat dengan meningkatnya prosentase pasir dalam campuran tanah

Tabel 4.5 menunjukkan hasil percobaan analisa saringan untuk tanah campuran A sampai dengan G tanpa percobaan hydrometer yang hasilnya digambarkan pada Gambar 4.5. Dari Gambar 4.5 melihat bahwa distribusi ukuran butir A sampai dengan G terdistribusi sesuai besarnya campuran.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Campuran

No. #	Diameter (m)	% Lolos Pasir	% Lolos Tanah Asli	% Lolos Camp. A	% Lolos Camp B	% Lolos Camp. C	% Lolos Camp D	% Lolos Camp. E	% Lolos Camp F	% Lolos Camp. G
4	4,75	81,21	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
10	2	65,82	100,00	98,29	96,58	94,87	93,16	91,45	86,33	82,91
20	0,85	45,39	98,16	95,09	92,54	89,88	87,92	84,87	77,54	71,15
40	0,425	22,55	97,06	93,10	89,01	85,91	82,95	78,54	67,25	59,86
80	0,18	6,84	96,10	91,57	87,13	83,39	78,65	74,35	60,67	51,90
100	0,15	4,41	95,64	91,00	86,54	81,85	77,51	73,09	58,72	50,41
200	0,075	0,30	94,80	89,96	85,32	79,92	75,63	71,39	56,67	48,05



Gambar 4.5 Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah Campuran

#### 4.1.3.2 Pengujian sifat mekanik campuran tanah dengan bahan stabilisasi

Pengujian dari sifat mekanik tanah meliputi pengujian Pemadatan CBR (*California Bearing Ratio*), *Swelling* dan UCS (*Unconfined Compressive Strength*) dengan hasil seperti ditunjukkan pada Lampiran D sampai Lampiran F atau dalam Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil pengujian kepadatan CBR, *Swelling* dan UCS Test tanah asli dengan beberapa prosentase campuran bahan stabilisasi

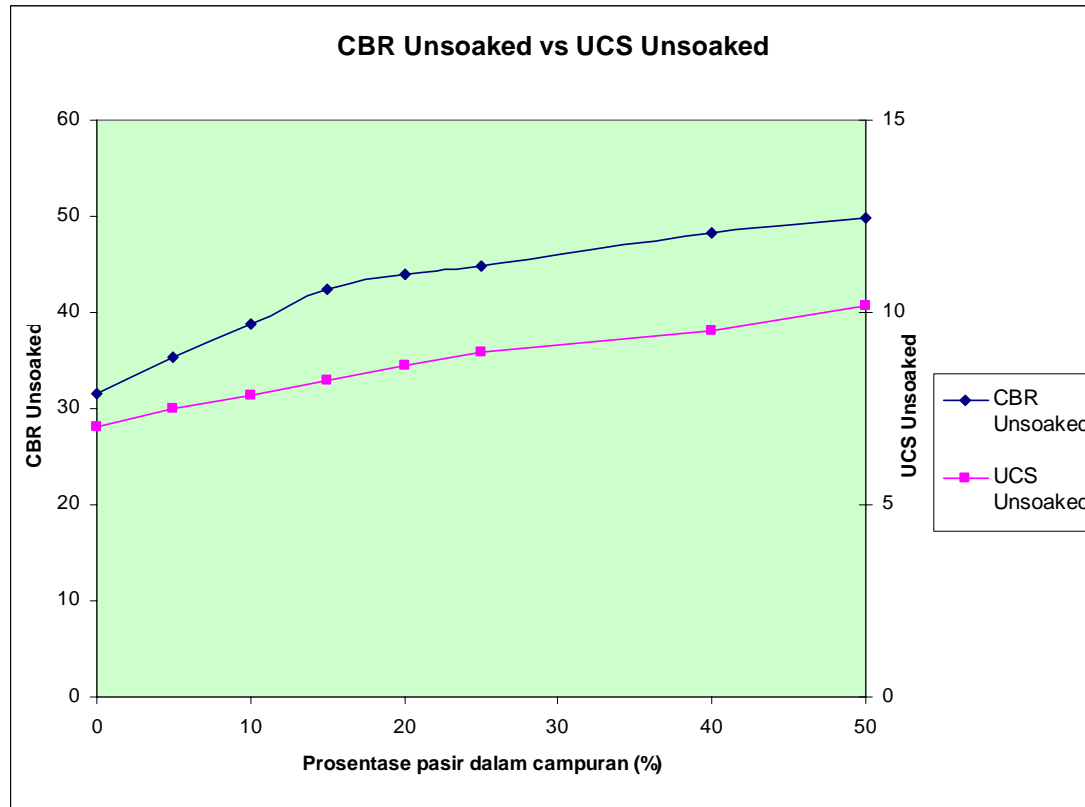
Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
Kadar Air Optimum (OMC) (%)	25,5	23,5	22,6	22,2	21,3	20,7	18,5	17,15
Kepadatan Kering Maks (MDD) (gr/cm <sup>3</sup> )	1,53	1,58	1,62	1,63	1,65	1,66	1,73	1,76
CBR <i>Unsoaked</i>	31,5	35,4	38,8	42,4	43,9	44,8	48,2	49,8
CBR <i>Soaked</i>	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	1,7	1,8	2,1
<i>Swelling Potential</i>	13,5	15,5	15,4	15,8	16,1	16,8	17,2	17,4
UCS <i>Unsoaked</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	7,03	7,51	7,86	8,24	8,63	8,95	9,52	10,16
UCS <i>Soaked</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	0,25	0,26	0,27	0,28	0,31	0,34	0,36	0,37

Dari Tabel 4.6, hasil pengujian sifat-sifat teknis terhadap tanah campuran terlihat bahwa:

- Harga CBR *Unsoaked* naik dengan pertambahan campuran pasir yaitu dari semula 31,50% menjadi 49,80% pada prosentase campuran pasir 50%. Dan harga CBR *Soaked* juga mengalami kenaikan dari semula 1,30% naik menjadi 2,10% pada prosentase campuran 50%.
- Swelling Potential* bertambah terus dengan naiknya prosentase pasir dan naiknya kepadatan kering dari semula 13,50% menjadi 17,40% pada prosentase campuran 50%.
- Harga UCS juga mengalami kenaikan baik pada kondisi *soaked* maupun *unsoaked* dengan prosentase kenaikan yang sebanding.

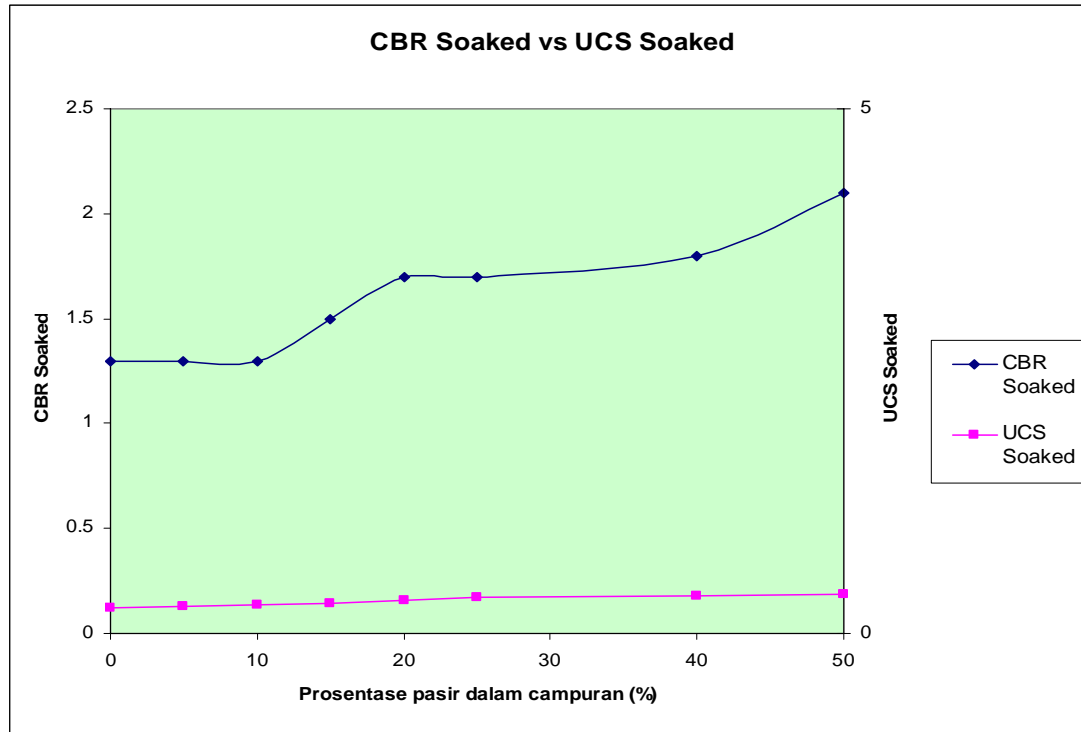
Korelasi antara hasil pengujian CBR *Soaked/Unsoaked* dan pengujian UCS *Soaked/Unsoaked*, dapat terlihat pada Gambar 4.6 dan 4.7. Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa harga UCS *Unsoaked* mengalami kenaikan dengan bertambahnya prosentase pasir, hal tersebut sama dengan CBR *Unsoaked*.





Gambar 4.6 Korelasi antara *CBR Unsoaked* dan *UCS Unsoaked* akibat perubahan prosentase campuran pasir

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa harga *UCS Soaked* hanya mengalami kenaikan kecil dengan pertambahan pasir sampai dengan 50 % dibandingkan dengan harga *UCS Soaked* pada tanah asli. Sedangkan harga *CBR Soaked* mengalami kenaikan lebih besar dibandingkan dengan *CBR Soaked* tanah asli dan setelah dicampur pasir.



Gambar 4.7 Korelasi antara *CBR Soaked* dan *UCS Soaked* akibat perubahan prosentase campuran pasir

#### 4.1.3.3 Pengujian sifat fisik campuran tanah dan bahan stabilisasi (komposisi B, D, F dan G) dengan metode pemadatan *Standard Proctor*

Contoh tanah dengan komposisi B, D, F dan G dipadatkan dengan metode pemadatan *Standard Proctor*, kemudian dilakukan pengujian CBR (*Soaked/Unsoaked*), swelling potensial dan UCS (*Soaked/Unsoaked*). Hasil pengujian seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian tanah asli dan pasir dengan metode pemadatan *Standard Proctor*

No.	Jenis pengujian	Tanah asli	Tanah Campuran Komposisi			
			B	D	F	G
1	Kadar air optimum (OMC) (%)	34,3	29,70	26,50	24,80	22,30
2	$\gamma_d$ maksimum	1,33	1,44	1,50	1,57	1,64
3	CBR <i>Soaked</i>	1,5	2,4	2,9	3,2	5,1
4	CBR <i>Unsoaked</i>	12,91	14,05	14,81	15,60	16,70
5	Swelling potensial	10,3	7,4	5,0	2,7	1,1
6	UCS <i>Soaked</i>	0,33	0,39	0,54	0,67	0,67
7	UCS <i>Unsoaked</i>	8,03	6,47	4,44	2,37	1,08

Perbedaan pengujian pemadatan metode *Modified Proctor* dan *Standard Proctor* adalah pada energi pemadatan. Pada metode *Standard Proctor* (AASHTO T 99 - 61), pemadatan dilakukan dalam 5 lapis, jumlah tumbukan 25 kali, berat hammer 10 lb dan tinggi jatuh 18 inchi, menghasilkan energi pemadatan = 12.200 (ft.lb/ft<sup>3</sup>). Sedangkan pada metode pemadatan *Modified Proctor*, jumlah lapisan 5, jumlah tumbukan 55 kali, berat hammer 10 lb, tinggi jatuh 18 inchi, menghasilkan energi = 56.000 ft.lb/ft<sup>3</sup>.

Untuk menguji pendapat tersebut, dilakukan pengujian kepadatan, CBR, dan *Swelling* dengan metode pemadatan *Standard Proctor*.

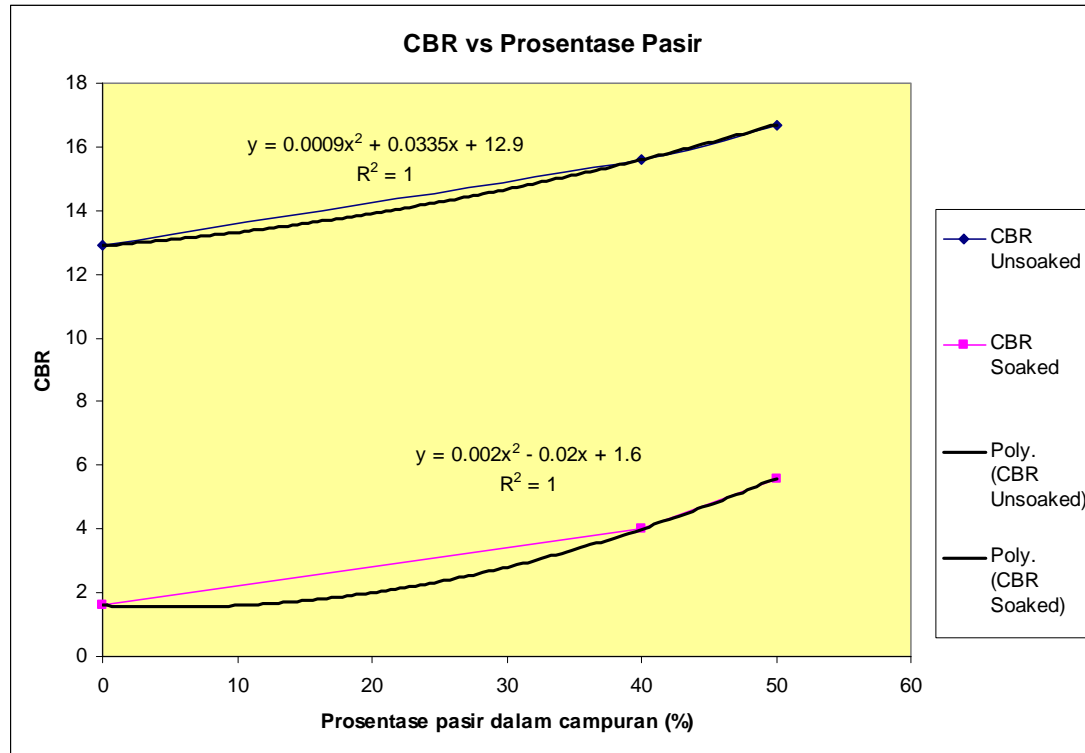
Variasi campuran pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran tanah asli 80% dan pasir 20%
2. Campuran tanah asli 70% dan pasir 30%
3. Campuran tanah asli 60% dan pasir 40%
4. Campuran tanah asli 50% dan pasir 50%

Pengaruh penambahan pasir terhadap nilai kepadatan kering maksimum pada contoh tanah campuran yang dipadatkan dengan metode *Standard Proctor*, dapat dilihat pada Tabel 4.7 yaitu tentang perubahan nilai kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ), *optimum moisture content* (OMC), nilai CBR *unsoaked* dan CBR *soaked* serta *swelling potential*.

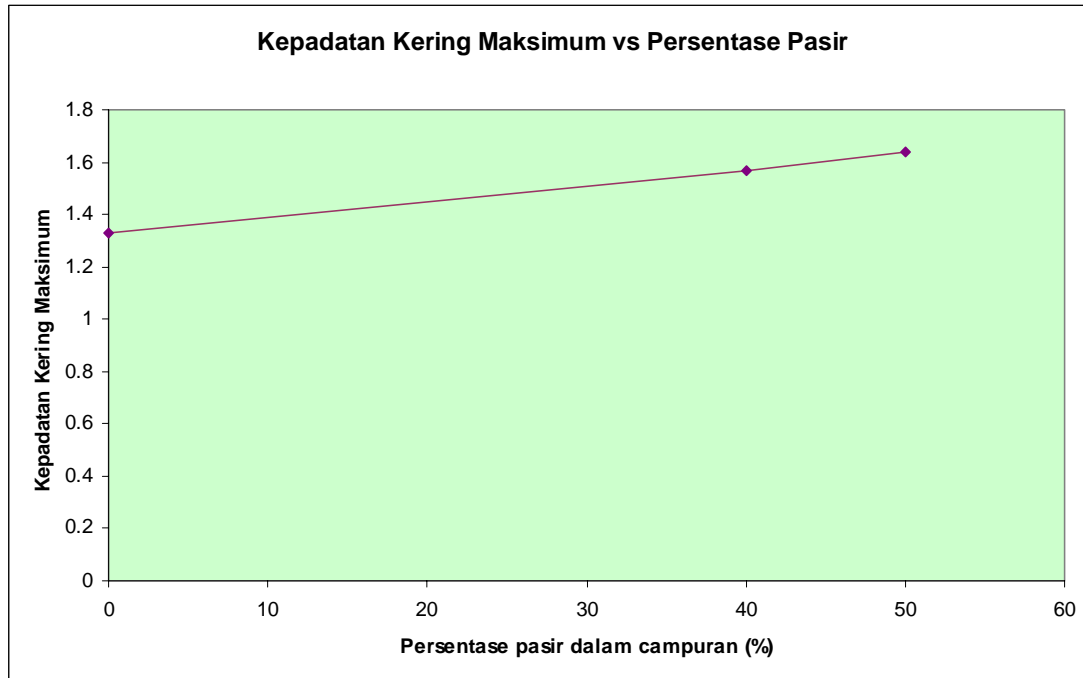
Gambar 4.8 menggambarkan hubungan antara prosentase campuran pasir dengan nilai CBR *Soaked* dan CBR *Unsoaked*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai CBR meningkat dengan bertambahnya prosentase pasir, dimana kenaikan pada campuran 50% pasir mencapai 16,7% untuk CBR *unsoaked* dan mencapai 5,60% untuk CBR *soaked*. Dengan kenaikan CBR *soaked* tersebut, tanah campuran hingga mencapai campuran pasir 50% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk dijadikan tanah *subgrade*, yaitu CBR > 5%.

Pemadatan dengan metode *Standard Proctor* mempunyai perbedaan yang sangat besar dibandingkan dengan *Modified Proctor*, yaitu ; CBR *Soaked* = 2,10%, sedangkan dengan metode *Standard Proctor*, CBR *Soaked* = 5,60% dan pengembangan = 1,10% dibandingkan dengan *Modified Proctor* = 17,40%.



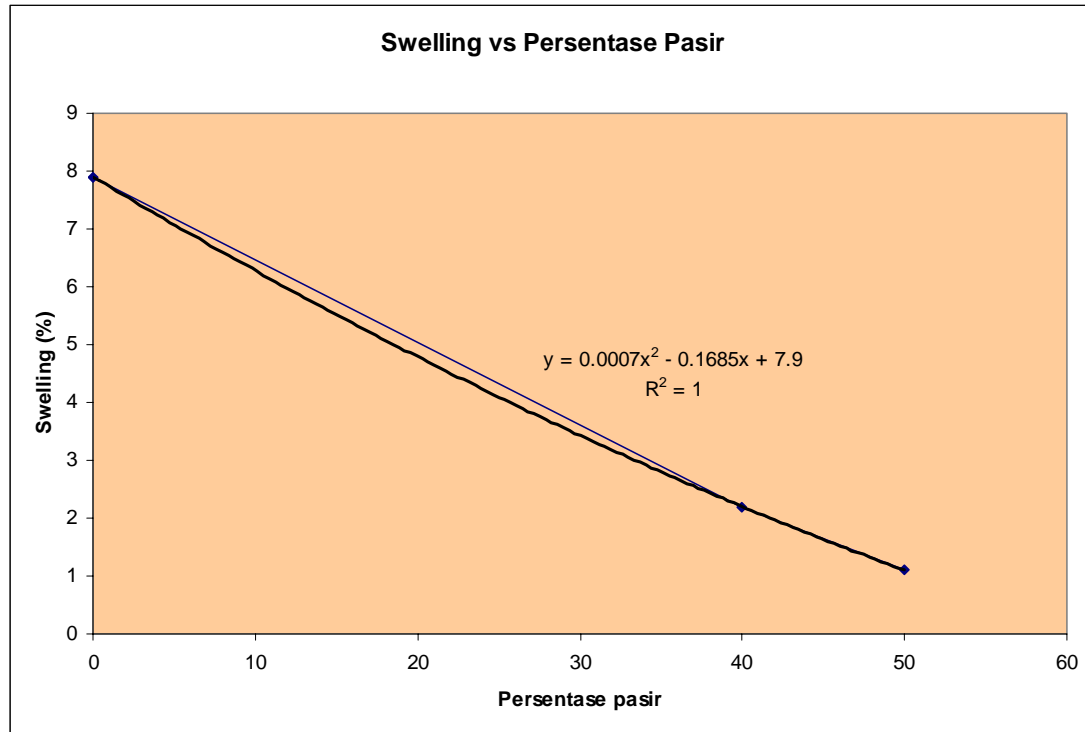
Gambar 4.8 Pengaruh penambahan pasir pada nilai CBR (*soaked* dan *unsoaked*) – *Standard Proctor*

Gambar 4.9 menggambarkan hubungan antar nilai kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) dengan prosentase campuran pasir. Dari gambar tersebut terlihat adanya kenaikan harga  $\gamma_{d_{maks}}$  dari kondisi tanah asli sebesar 1,33 gr/cm<sup>3</sup> menjadi 1,64 gr/cm<sup>3</sup> untuk campuran 50% pasir. Sedangkan kadar air optimum menurun dari semula 34,3% pada campuran 50% menjadi 22,3%.



Gambar 4.9 Pengaruh penambahan pasir pada kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) – *Standard Proctor*

Gambar 4.10 menggambarkan hubungan antara prosentase campuran pasir terhadap nilai *swelling potential*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai *swelling potential* mengalami penurunan akibat pertambahan campuran pasir dimana pada kondisi awal *swelling potential* adalah 7,9%, sedangkan pada kondisi campuran 50% pasir *swelling potential* tanah adalah 1.1 yaitu mencapai pengurangan 86,1%. Kondisi ini sesuai dengan asumsi semula bahwa adanya campuran pasir akan mengurangi potensi pengembangan yang berdasarkan hasil pengujian terjadi sebaliknya.



Gambar 4.10 Pengaruh penambahan pasir pada *swelling potentia* – *Standard Proctor*

## 1.14 Pembahasan

### 1.14.1 Material dasar

Penelitian melalui pengujian yang dilakukan terhadap tanah asli seperti tercantum pada Tabel 4.1 yang menggambarkan karakteristik kondisi tanah asli. Ditinjau dari distribusi butiran didapatkan 95% lolos saringan No. 200 dengan Plasticity Index (PI) sebesar 78% dan batas cair (LL) 109%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanah setempat memiliki angka Indeks Plastisitas yang melebihi 35% dengan batas cair di atas 55%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tanah asli pada ruas jalan Godong – Purwodadi adalah lempung yang memiliki Indeks Plastisitas yang tinggi dimana hal ini merupakan sifat dari lempung yang ekspansif (*expansive clay*). Menurut AASHTO maupun ASTM dan hubungan antara PI dengan LL dari *British Standart*, tanah setempat termasuk jenis tanah lempung berplastisitas tinggi. Begitu juga Chen (1975) menyatakan angka PI sebesar 78% menunjukkan potensi pengembangan yang sangat tinggi.

Hasil pengujian analisa saringan menunjukkan tanah asli merupakan jenis tanah lempung, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2. Terlihat bahwa tanah berbutir halus atau lolos saringan saringan no 200 (0,075 mm) sebesar 94,80%. Oleh karena prosentase lolos saringan No. 200 lebih dari 50%, maka dapat disimpulkan jenis tanah asli adalah lempung.

Hasil penelitian volume pengembangan sebesar 13,5% termasuk perubahan volume yang berpengaruh dan merupakan salah satu penyebab labilnya permukaan jalan. Kekuatan tanah setempat juga termasuk rendah yaitu dengan nilai CBR *Soaked* sebesar 1,3%.

Resume hasil penelitian tanah asli bila dibandingkan dengan hasil penelitian beberapa ahli dapat dilihat pada Tabel 4.8 (Identifikasi karakteristik tanah asli).

Dari identifikasi sifat-sifat tanah asli dan analisis sifat-sifatnya yang kurang menguntungkan terutama yang disebabkan oleh perubahan kadar air tanah, melalui penelitian ini dicoba mencari alternatif perbaikan tanah asli dengan cara penambahan bahan stabilisasi berupa pasir. Hasil penelitian pencampuran tanah asli dengan bahan stabilisasi pasir akan diuraikan lebih lanjut.

Tabel 4.8 Identifikasi Karakteristik Tanah Asli

No.	Teori / Penelitian	Batasan	Hasil Percobaan	Kesimpulan
1.	Holz dan Gibbs (1956)	PI > 35 %	PI = 78 %	Tingkat Pengembangan sangat tinggi
2.	Chen (1988)	PI > 55 % % Lolos # 200 > 95 % LL > 60 % Swelling > 10 %	PI = 78 % % Lolos # 200 = 95 % LL = 90 % Swelling = 13,5 %	Potensi Pengembangan sangat tinggi
3.	Skempton (1953)	AC > 1,25 AC = PI/CF	AC = 1,5	Potensi Pengembangan sangat tinggi
4.	Atterberg	PI > 17 %	PI = 78 %	Lempung sangat plastis
5.	USCS	LL > 50 % PI > 42 % PI = 0,73 (LL - 20)	LL = 109 % PI = 78 % PI = 64,97 %	Klasifikasi CH (lempung dengan plastisitas tinggi)



### 1.14.2 Hasil stabilisasi tanah asli dengan pasir

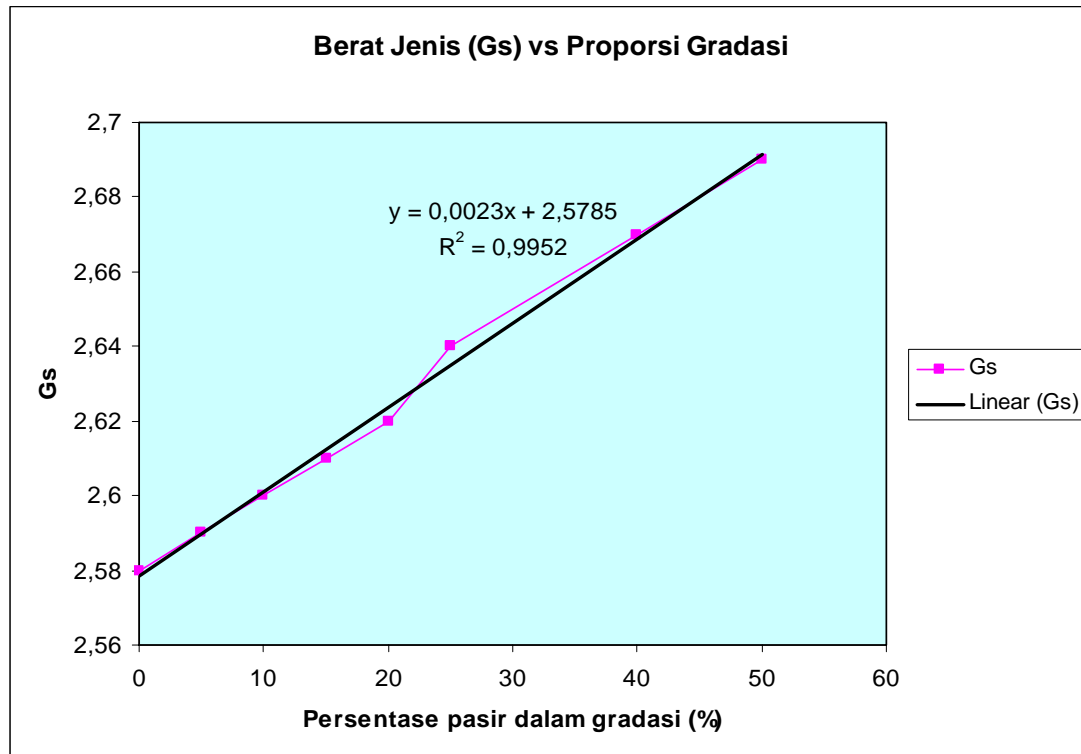
#### 4.2.2.1 Pengaruh stabilisasi terhadap berat jenis (Gs)

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan pengaruh dari campuran pasir terhadap tanah asli lempung ekspansif pada ruas jalan Godong – Purwodadi, yaitu perubahan berat jenis (Gs), seperti terlihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.9 Pengaruh penambahan pasir terhadap parameter Gs

Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
Berat Jenis (Gs)	2.58	2.59	2.6	2.61	2.62	2.64	2.67	2.69

Pada Tabel 4.9, nilai Gs tanah lempung ruas jalan Godong – Purwodadi naik dari 2,58 sampai 2,69, Gambar 4.12 berikut adalah pengaruh tambahan persentase pasir terhadap berat jenis.



Gambar 4.11 Pengaruh penambahan pasir terhadap berat jenis

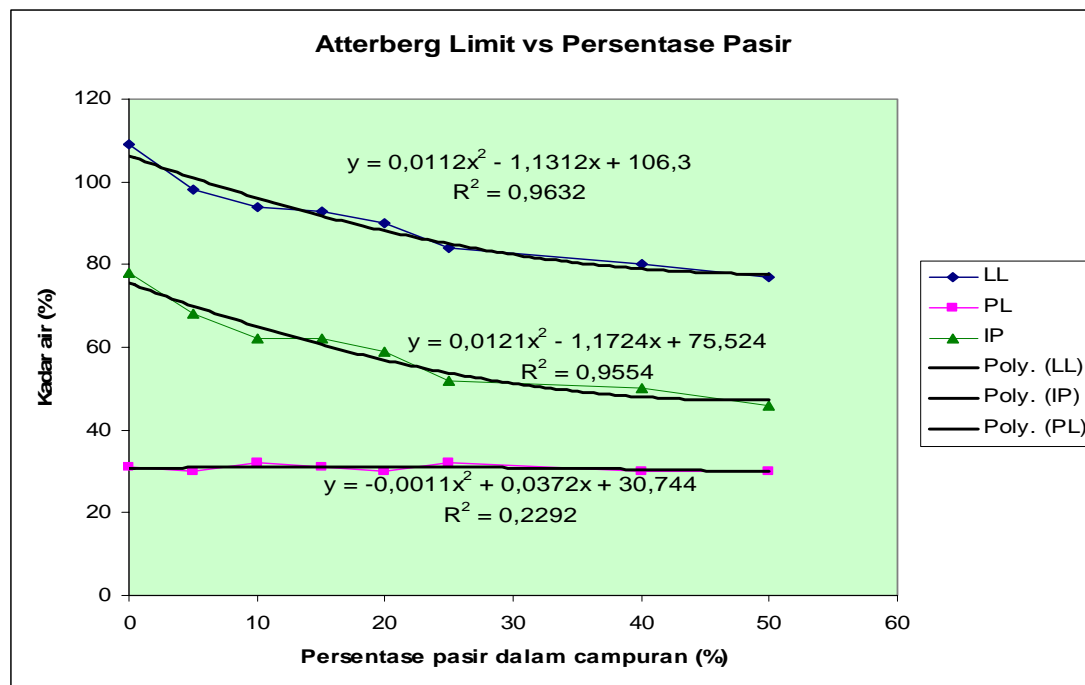
#### 4.2.2.2 Pengaruh bahan stabilisasi terhadap batas-batas Atterberg

Akibat penambahan bahan stabilisasi pasir, pada percobaan batas-batas Atterberg tanah di ruas jalan Godong – Purwodadi adalah sebagai berikut:

- Batas cair (LL) cenderung turun
- Batas plastis (PL) cenderung tetap
- Plasticity Index (PI) cenderung turun

Tabel 4.10 Pengaruh penambahan pasir terhadap parameter batas-batas Atterberg

Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
Batas Cair	109	98	94	93	90	84	80	77
Batas Plastis	31	30	32	31	30	32	30	30
Plasticity Index (PI)	78	68	62	62	59	52	50	46



Gambar 4.12 Pengaruh penambahan pasir pada nilai batas-batas Atterberg

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.11 terlihat bahwa makin banyak bahan pasir, maka makin rendah plasticity index, jadi PI turun dengan bertambahnya pasir.

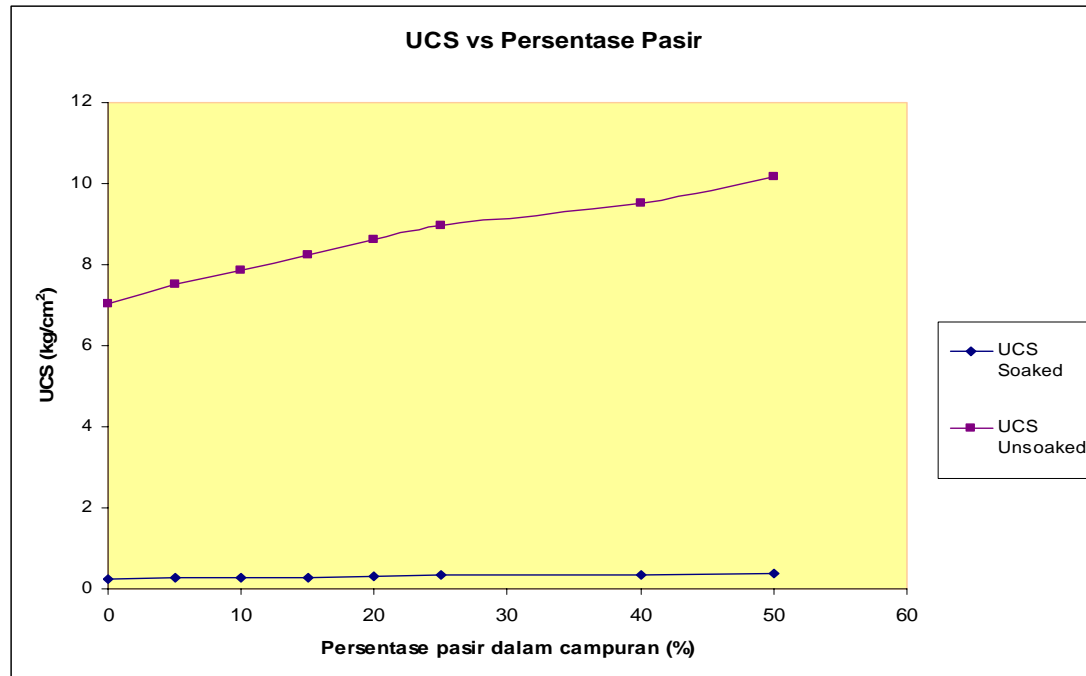
#### 4.2.2.3 Pengaruh Stabilisasi Pasir pada Uji Kuat Tekan Bebas (qu)

Pengujian UCS *Unsoaked* dilakukan pada contoh tanah yang dipadatkan dengan metode *Modified Proctor* pada kondisi OMC kemudian dicetak dengan *mold*

ukuran tes UCS. Untuk pengujian UCS *Soaked*, contoh yang telah dipadatkan seperti tersebut di atas direndam selama empat hari, kemudian dicetak dengan *mold* yang sama, hasil cetakan lalu dilakukan tes kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*). Hasil *Unconfined Compression Test* pada tiap komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Pengaruh pasir pada uji kuat tekan bebas ( $q_u$ )

Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
UCS <i>Unsoaked</i> ( $\text{kg/cm}^2$ )	7.03	7.51	7.86	8.24	8.63	8.95	9.52	10.16
UCS <i>Soaked</i> ( $\text{kg/cm}^2$ )	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.34	0.36	0.37



Gambar 4.13 Pengaruh penambahan pasir untuk uji kuat tekan bebas

Tanah asli yang tidak direndam (*unsoaked*) sebelum distabilisasi mempunyai nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) = 7,03  $\text{kg/cm}^2$ , sedangkan dalam kondisi terendam (*soaked*) mempunyai nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) = 0,25  $\text{kg/cm}^2$ . Setelah distabilisasi dengan pasir sebesar 50% nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) naik, untuk kondisi tak terendam (*unsoaked*), nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) naik hingga 10,16  $\text{kg/cm}^2$ , sedang untuk kondisi terendam (*soaked*) naik hingga 0,37  $\text{kg/cm}^2$  dari semula 0,25  $\text{kg/cm}^2$ , namun demikian kondisi tanah dengan nilai UCS 0,37  $\text{kg/cm}^2$  masih tergolong tanah lunak.

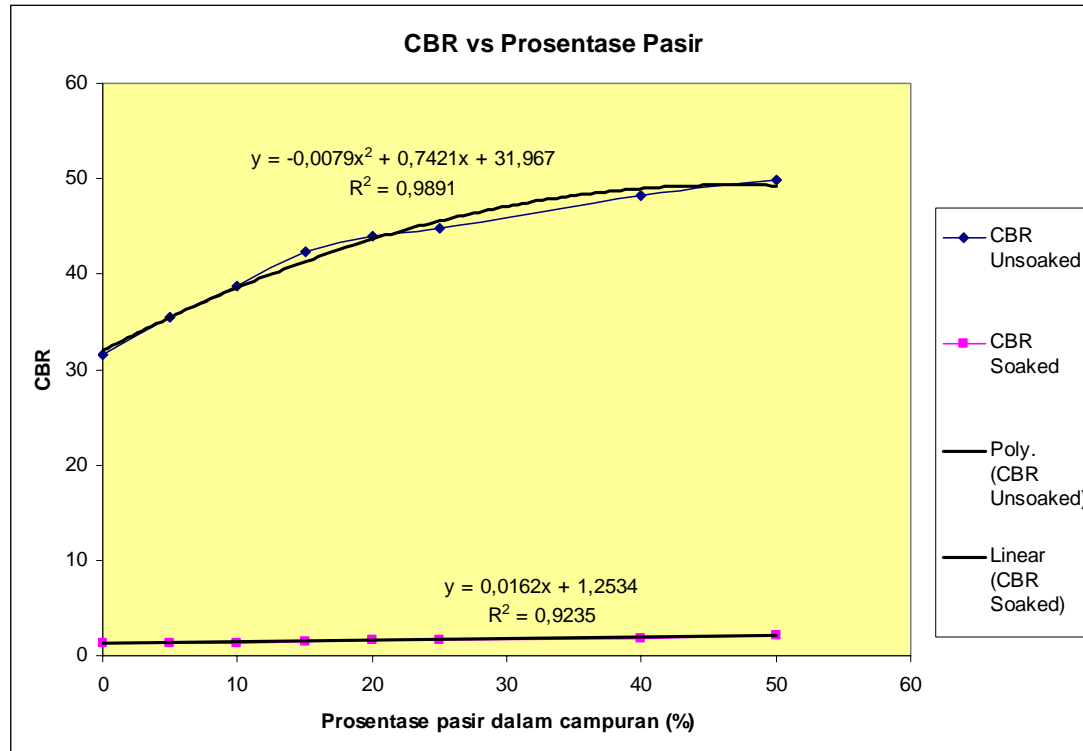
#### 4.2.2.4 Pengaruh Stabilisasi Pasir pada kepadatan kering maksimum dan CBR

Pengaruh penambahan pasir terhadap nilai kepadatan kering maksimum pada contoh tanah campuran yang dipadatkan dengan metode *Modified Proctor*, dapat dilihat pada Tabel 4.12 yaitu meliputi nilai kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ), *optimum moisture content* (OMC), nilai CBR *unsoaked* dan CBR *soaked* serta *swelling potential*.

Tabel 4.12 Pengaruh pasir terhadap karakteristik pemadatan, nilai CBR dan *swelling*

Uraian	Tanah Asli	Camp. A	Camp. B	Camp. C	Camp. D	Camp. E	Camp. F	Camp. G
Kadar Air Optimum (OMC) (%)	25.5	23.5	22.6	22.2	21.3	20.7	18.5	17.15
Kerapatan Kering Maks (MDD) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.53	1.58	1.62	1.63	1.65	1.66	1.73	1.76
CBR <i>Unsoaked</i>	31.5	35.4	38.8	42.4	43.9	44.8	48.2	49.8
CBR <i>Soaked</i>	1.3	1.3	1.3	1.5	1.7	1.7	1.8	2.1
<i>Swelling Potential</i>	13.5	15.5	15.4	15.8	16.1	16.8	17.2	17.4

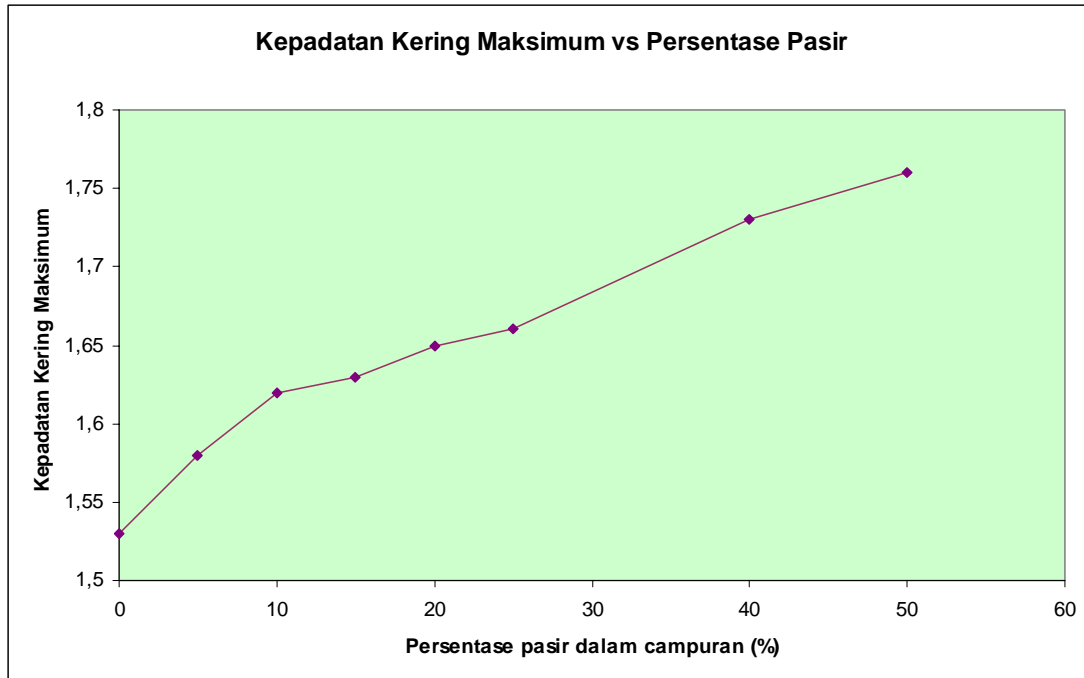
Pada Tabel 4.12 terlihat bahwa peningkatan CBR *Unsoaked* cukup signifikan dibanding CBR *Soaked*. Secara keseluruhan nilai CBR yang didapat untuk tanah campuran hasil stabilisasi ini meningkat dengan bertambahnya bahan stabilisasi pasir. Pada CBR *Soaked* penambahan pasir sampai 10% tidak mempengaruhi CBR tanah campuran tersebut, akan tetapi pada penambahan sampai 50% pasir, CBR *Soaked* naik menjadi 2,10% dari nilai CBR *Soaked* tanah asli sebesar 1,3%.



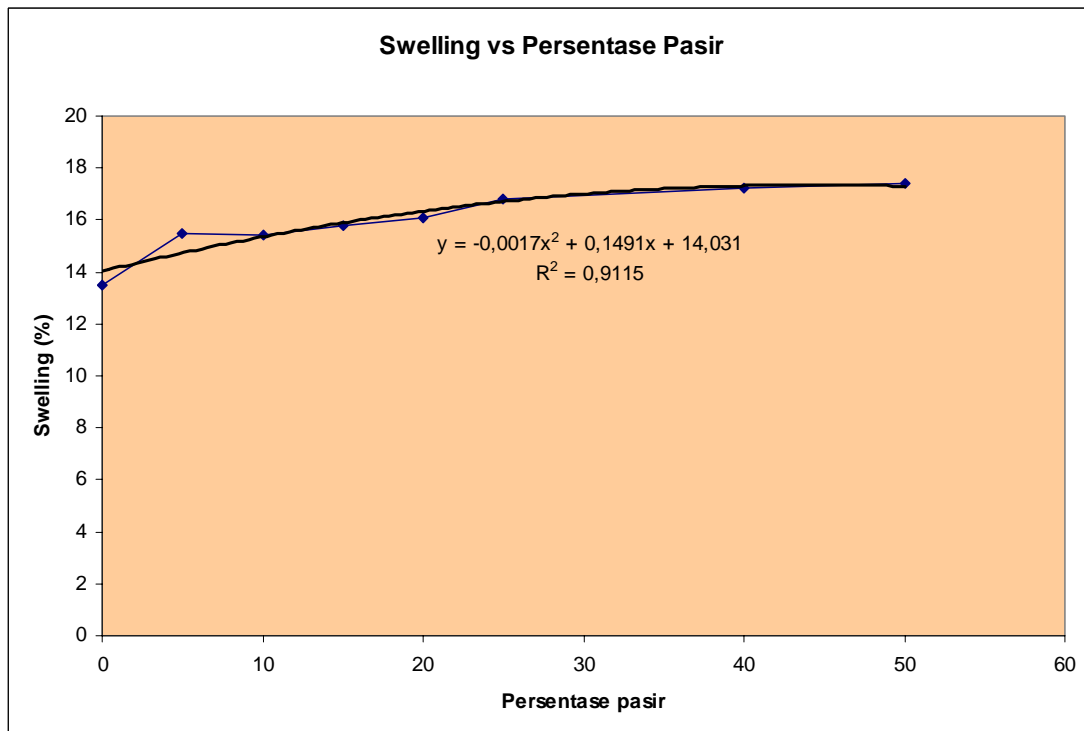
Gambar 4.14 Pengaruh penambahan pasir pada nilai CBR (*soaked* dan *unsoaked*) – Modified Proctor

Gambar 4.14 menggambarkan hubungan antara prosentase campuran pasir dengan nilai CBR *soaked* dan CBR *unsoaked* yang memperlihatkan bahwa nilai CBR meningkat dengan bertambahnya prosentase pasir, dimana kenaikan pada campuran 50% pasir mencapai 49,8% untuk CBR *unsoaked* dan mencapai 2,10 % untuk CBR *soaked*. Dengan kenaikan tersebut, CBR *soaked* tersebut, masih tergolong tanah lunak dan belum memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk dijadikan *subgrade* konstruksi jalan (persyaratan CBR *subgrade* harus > 5%).

Gambar 4.15 menggambarkan hubungan antara nilai kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) dengan prosentase campuran pasir. Dari gambar tersebut terlihat adanya kenaikan harga  $\gamma_{d_{maks}}$  dari kondisi tanah asli sebesar 1,53 gr/cm<sup>3</sup> menjadi 1,76 gr/cm<sup>3</sup> untuk campuran 50% pasir. Sedangkan kadar air optimum menurun dari tanah asli 25,5% pada campuran 50% menjadi 17,15% (Pemadatan dengan metode *Modified Proctor*).



Gambar 4.15 Pengaruh penambahan pasir pada kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) – Modified Proctor



Gambar 4.16 Pengaruh penambahan pasir pada *swelling potential* – Modified Proctor

Gambar 4.16 menggambarkan hubungan antara prosentase campuran pasir terhadap nilai *swelling potential*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai *swelling*

*potential* mengalami kenaikan akibat pertambahan campuran pasir. Kondisi ini bertentangan dengan asumsi semula bahwa adanya campuran pasir akan mengurangi potensi pengembangan yang berdasarkan hasil pengujian terjadi sebaliknya.

### 1.15 Evaluasi Hasil Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan proposal yaitu dengan campuran bahan stabilisasi antara 5% sampai dengan 25% ternyata belum mendapatkan hasil yang diinginkan dalam hipotesa pertama. Pada penelitian ini harga CBR *Soaked* berubah dari semula 1,3% (tanah asli) dengan tambahan bahan stabilisasi 25% harga CBR *Soaked* menjadi 1,70%, *Swelling Potential* tanah asli 13,5% dan dengan campuran 25% naik menjadi 16,8%.

Hasil penelitian ini belum memberikan kepuasan karena:

- a. Kenaikan harga CBR yang dihasilkan sangat kecil dibandingkan dengan kebutuhan untuk *subgrade* jalan 5%.
- b. *Swelling Potential* yang diharapkan turun dengan bertambahnya campuran pasir, ternyata naik dari 13,5% menjadi 16,8%.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih memuaskan, variasi campuran ditambah dua sampel yaitu dengan prosentase pasir 40% dan 50%. Tambahan penelitian ini mendapatkan hasil CBR *Soaked* naik menjadi 2,10% dan *Swelling Potential* naik menjadi 17,40%. Hal ini masih belum memuaskan karena harga CBR *Soaked* masih belum memenuhi syarat sebagai *subgrade* jalan dan *Swelling Potential* makin membesar.

Turnbull dan Foster (1958) dalam penelitiannya menghasilkan adanya gejala *overcompact* pada tanah lempung yang dipadatkan dengan daya pemadatan yang tinggi. Dengan kenaikan daya pemadatan, nilai kepadatan bertambah tetapi harga CBR *Soaked*nya menurun, kondisi ini kemungkinan terjadi pada penelitian ini mengingat dalam penelitian yang dilakukan memakai *Modified Proctor*.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian laboratorium ditambah dengan tiga buah contoh campuran yaitu 20%, 40% dan 50%. Pemadatan dilakukan dengan metode *Standard Proctor*, yaitu dengan merubah energi pemadatan dari semula 56.300 ft-lb/ft<sup>3</sup> menjadi 12.400 ft-lb/ft<sup>3</sup>. Besarnya daya pemadatan metode *Standard Proctor* dan *Modified Proctor* adalah sebagai berikut:

1. *Modified Proctor* (AASHTO T-180-61)

- Berat *hammer* = 10 lb (G)
- Tinggi jatuh = 18 inchi (H)
- Jumlah lapisan = 5 lapis (L)
- Jumlah tumbukan = 25 tumbukan per lapis (N)
- Volume *mold* = 1/30 ft<sup>3</sup> (V)
- Menghasilkan energi = 56 ft-lb/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{yaitu CE} &= \frac{G \times H \times L \times N}{V} \\ &= \frac{10 \times 18 \times 5 \times 25}{1/30} = 56.300 \text{ ft-lb/ft}^3 \end{aligned}$$

2. *Standard Proctor* (AASHTO T-99-61)

- Berat *hammer* = 5,5 lb (G)
- Tinggi jatuh = 1 ft (H)
- Jumlah lapisan = 3 lapis (L)
- Jumlah tumbukan = 25 tumbukan per lapis (N)
- Volume *mold* = 1/30 ft<sup>3</sup> (V)
- Menghasilkan energi = 56 ft-lb/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{yaitu CE} &= \frac{G \times H \times L \times N}{V} \\ &= \frac{5,5 \times 1 \times 3 \times 25}{1/30} = 12.400 \text{ ft-lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Percobaan dilakukan terhadap tiga contoh tanah dengan campuran pasir 20 %, 40% dan 50%, dipadatkan dengan metode *Standard Proctor*.



Hasil percobaan tiga contoh tanah dengan metode *Standard Proctor* adalah seperti pada Tabel 4.13. Dalam tabel tersebut sekaligus ditampilkan perbandingan hasil penelitian antara *Standard* dan *Modified Proctor*, dan dapat disimpulkan sebagai berikut:

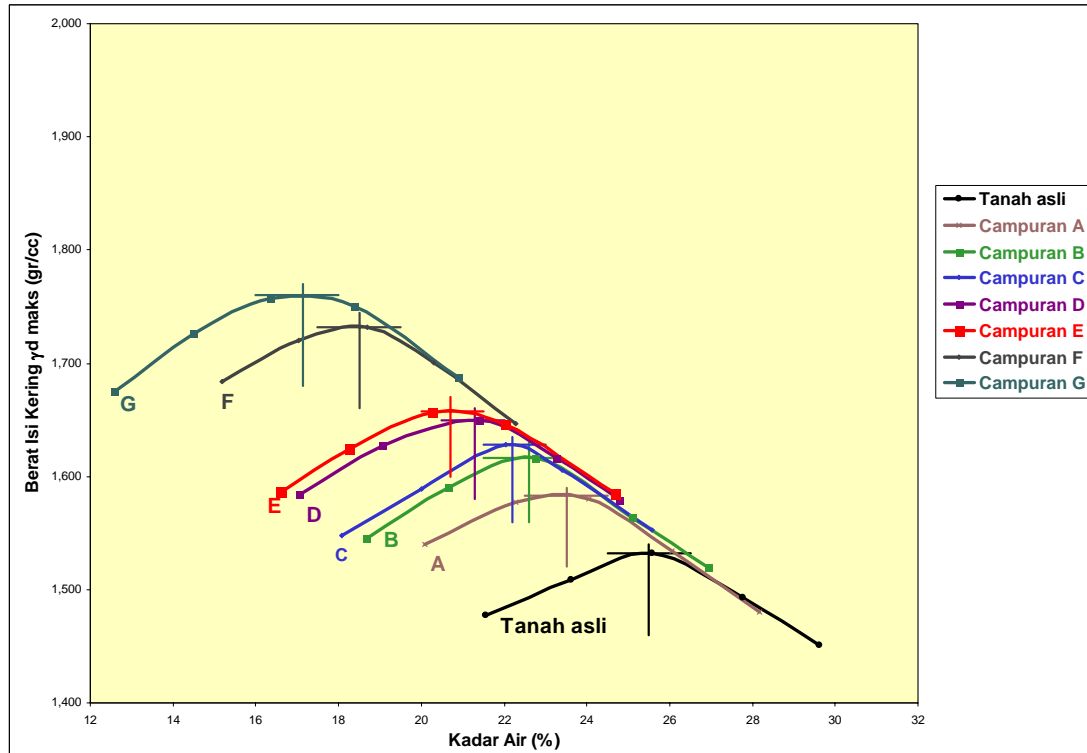
1. CBR *Soaked* naik bersamaan dengan naiknya prosentase pasir, yaitu menjadi 5,6% untuk campuran 50% pasir, sedangkan pada metode *Modified Proctor* sebesar 2,10%. Kenaikan ini menjadi sangat penting karena dihasilkan CBR > 5% yang berarti dapat memenuhi untuk kebutuhan *subgrade* jalan.
2. CBR *Unsoaked* bertambah besar dengan pertambahan campuran pasir, pada campuran pasir 50%, harga CBR *Soaked* 16,70%, nilai ini mempunyai perbedaan yang cukup besar bila dibandingkan dengan CBR *Unsoaked* dengan metode *Modified* yaitu 49,80%. Kondisi ini terbalik bila dibandingkan dengan hasil percobaan CBR *Soaked* yang justru mengalami kenaikan harga CBR meskipun dengan pengurangan daya pemadatan.
3. Pengembangan (*swelling potential*), pada percobaan dengan *Modified Proctor* mengalami kenaikan *swelling* dengan naiknya prosentase pasir, pada percobaan *Standard Proctor* nilai *swelling potential* mengalami penurunan dengan penambahan campuran pasir, yaitu dari semula 17,40% pada percobaan *Modified* menjadi 1,10% untuk daya pemadatan dengan *Standard Proctor*.

Tabel 4.13 Perbandingan hasil pengujian dengan metode *Standard Proctor* dan *Modified Proctor*

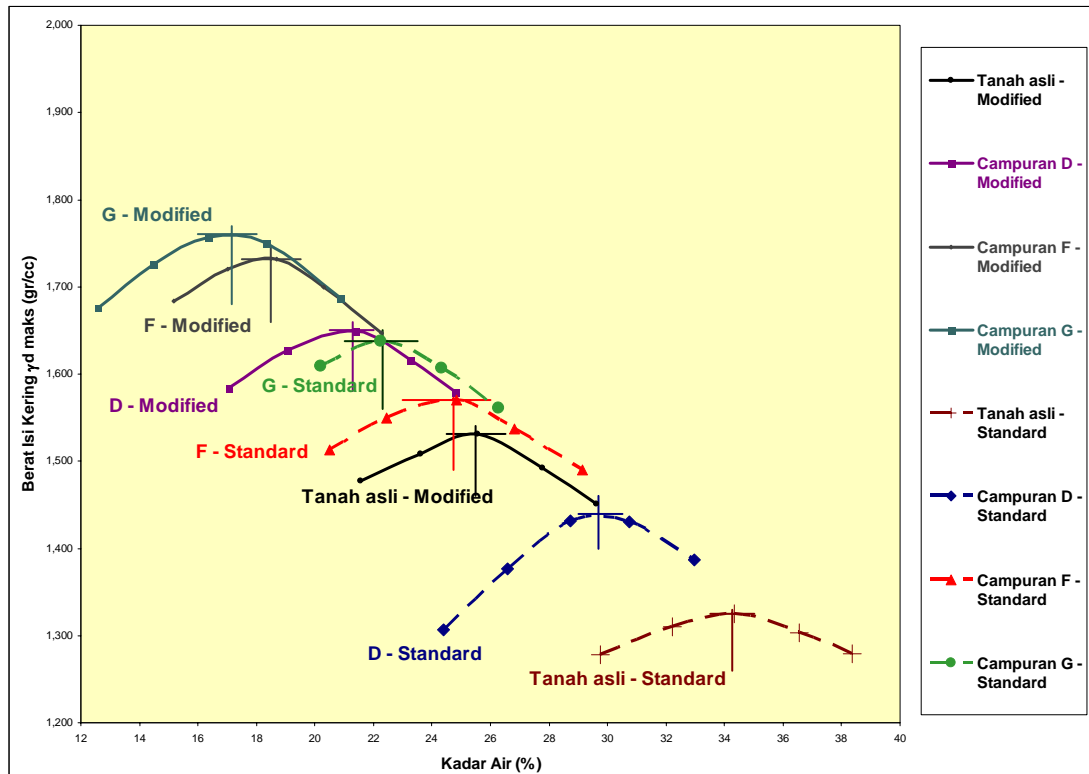
No.	Jenis Pengujian	Modified Proctor			Standard Proctor		
		80 : 20	60 : 40	50 : 50	80 : 20	60 : 40	50 : 50
1.	CBR <i>Unsoaked</i> (%)	43,9	48,2	49,8	14,05	15,60	16,70
2.	CBR <i>Soaked</i> (%)	1,7	1,8	2,1	2,40	4,00	5,60
3.	<i>Swelling</i> (%)	16,10	17,20	17,40	4,66	2,20	1,10
4.	$\gamma_{dry}$ Maks (gr/cm <sup>3</sup> )	1,65	1,73	1,76	1,44	1,57	1,64

5.	OMC	21,3	18,5	17,15	29,7	24,8	22,3
----	-----	------	------	-------	------	------	------

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa kenaikan kepadatan tidak selalu menghasilkan CBR *Soaked* yang makin besar, hal ini terjadi karena dengan naiknya kepadatan akan memperbesar pengembangan dan karena pengembangan mengakibatkan renggangnya jarak antar butiran maka daya dukungnya menurun.



Gambar 4.17 Hubungan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk beberapa komposisi campuran



Gambar 4.18 Hubungan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk beberapa komposisi campuran dengan metode pemadatan *Modified Proctor* dan *Standard Proctor*

## BAB 5

# KESIMPULAN DAN SARAN

### 1.16 Kesimpulan

#### 5.1.1 Tanah asli (lempung)

Contoh tanah dari ruas jalan Semarang-Purwodadi Km.40 dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung ekspansif dengan data sebagai berikut :

- Batas Cair (LL) : 109 % ;
- Indeks Plastisitas (IP) : 78 % ;
- Swelling Potensial : 13,5% ; dan
- Activity : 1,50

Dengan data tersebut di atas menurut *Chen (1988)* digolongkan sebagai lempung dengan peotensi pengembangan sangat tinggi, dan menurut *Atterberg* digolongkan sebagai lempung sangat plastis, sedangkan menurut USCS diklasifikasikan ke dalam CH, yaitu lempung dengan plastisitas tinggi.

#### 5.1.2 Tanah campuran (lempung + pasir) yang dipadatkan dengan metode Modified Proctor

Campuran dengan komposisi sampai dengan 25% pasir dan 75% tanah asal tidak menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap sifat-sifat mekanis tanah, yaitu nilai CBR Soaked, hanya naik dari 1,30% menjadi 1,70% dan pengembangan naik dari 13,50% menjadi 16,80%.

Dengan komposisi campuran 50% pasir dan 50% tanah menghasilkan CBR Soaked 2,10% dan pengembangan 17,40%. Hasil ini belum memenuhi syarat sebagai *Subgrade* jalan, karena persyaratannya CBR > 5%.

Perubahan sifat-sifat fisik dengan campuran 50% pasir, menghasilkan Batas Cair (LL) turun dari 109% menjadi 77%. Indeks Plastisitas mengalami penurunan

dari 78% menjadi 46%, sedangkan Batas Plastis (PL) cenderung tidak mengalami perubahan yang berarti.

Hasil test Pengembangan menunjukkan hasil yang berbeda dengan hipotesa semula, yaitu dengan adanya campuran pasir maka pengembangan akan menurun, namun dalam kenyataannya pengembangan justru naik dari semula 13,5% menjadi 17,40%. Hasil ini mengindikasikan adanya gejala *over compacted*, sehingga perlu dicoba dengan menurunkan daya pemadatan dari Modified Proctor menjadi Standard Proctor.

### **5.1.3 Tanah campuran (lempung + pasir) yang dipadatkan dengan metode Standard Proctor**

Dengan metode pemadatan Standard Proctor, yaitu pemadatan dengan energi pamadatan 12.400 ft.lb/ft<sup>3</sup> (Modified Proctor, 56.000 ft.lb/ft<sup>3</sup>) menghasilkan nilai CBR Soaked 5,60% pada campuran 50% pasir, pengembangan juga mengalami penurunan dari 2,20% pada campuran 40% pasir menjadi 1,10% pada campuran 50% pasir.

Berdasarkan hasil test tersebut di atas maka pemadatan dengan metode Standard Proctor lebih tepat untuk pemadatan tanah lempung karena akan menghasilkan nilai CBR Soaked yang lebih besar dibandingkan dengan metode Modified Proctor untuk satu komposisi campuran yang sama.

### **1.17 Saran**

1. Untuk tanah lempung lunak, pemadatan dengan metode Standard Proctor lebih dianjurkan dibandingkan dengan Metode Modified Proctor, hal ini untuk mencegah terjadinya *over compacted*.
2. Dengan komposisi 50% pasir dan metode pemadatan Standard Proctor dapat menghasilkan nilai CBR yang memenuhi syarat sebagai *Subgrade* jalan dan dengan pengembangan yang kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2002), *Prosedur Penelitian*, Rineka Cipta, Jakarta.
- ASTM (1992), *ASTM Standards on Soil Stabilization with Admixture*, American Society Testing and Materials, Second Edition.
- Bowles, J.E. (1979), *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGrawhill Book Company, New York.
- \_\_\_\_\_. (1986), *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*, Mc.Graw-Hill Book Company, Singapore
- \_\_\_\_\_. (1984), *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Alih bahasa Ir. Johan Kelanapura Hainim. Jakarta, Erlangga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1992), *Spesifikasi Standart untuk Pekerjaan Jalan*.
- Hartono. (2002), *Bagaimana Menulis Tesis?*, UMM Press, Malang.
- Hendarsin, S. L. (2000), *Investigasi Rekayasa Geoteknik*, Politeknik Negeri Bandung Jurusan Teknik Sipil, Bandung.
- Kerbs, R.D., and Walker, R.D. ( 1971 ), *Highway Materials*, McGrawhill Book Company, New York.
- Maslov, N.N. (1982), *Basic Engineering Geology and Soil Mechanics*, Mir Publishers, Moscow.
- Saodang, H. (1984), *Stabilisasi Kapur di Perumnas Antapani – Bandung*, Konferensi Tahunan Teknik Jalan Ke - 2, Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Hermin Tjahyati, Ir. MSc ( 1994 ), *Pengaruh Kadar Air pada Kestabilan Tanah*, Konferensi Tahunan Teknik Jalan Ke 2, Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Ingles, O.G and Metcalf, J.B. (1972), *Soil Stabilization Principles and Practice*, Butterworths Sydney-Melbourne, Brisbane.
- Kedzi, A. (1979). "Stabilized Earth Roads." Hungary: The Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences.
- Lemanza, Willy. M.Eng, Prihatiningsih, Atiek. Ir, Willim, Hardy ( 1994 ), *Stabilisasi Tanah Kohesif Berplastisitas Tinggi dengan Kapur, Semen, dan Geosta Seminar Keunggulan Geosta sebagai Bahan Stabilisasi Tanah*, Dep. PU Jakarta, Indonesia.
- Pedoman Teknis Clean Set* ( 1994 ), Teknologi Stabilisasi Tanah Lunak, PT. Utraindah Tricahaya, Jakarta, Indonesia.
- Pedoman Penyusunan dan Penulisan Tesis Magister Teknik Sipil*. (1999), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.

- SNI 03-3440-1994, *Tata Cara Pelaksanaan Stabilisasi Tanah dengan Semen Portland untuk Jalan*, DSN.
- Soedarmo, G. D., Purnomo, S. J. E. (1997), *Mekanika Tanah I*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Syafiuddin, M. ( 1996 ), *Stabilisasi Tanah Lempung Sragen dan Cepu dengan Bahan Consolild 444 dan Conservex*, Program Magister Teknik Sipil, ITB, Bandung, Indonesia.
- Teeracharti, R.K. (1983), *Stability of Granitic Soil Mixed with Asphalt Cement, The Forth Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australasia*, Jakarta, Indonesia.
- Tjahyati, H., Ir. MSc (1994), *Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Geosta*, Seminar Keunggulan Geosta sebagai Bahan Stabilisasi Tanah.
- Walpole, R.E. (1982), *Pengantar Statistik*, Edisi ke-3, Gramedia, Jakarta.
- William, L.T. and Robert, W. ( 1969 ), *Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Yosua (2000), *Stabilisasi Tanah dari Barito Utara dengan Semen untuk Konstruksi Jalan*, Program Magister STR, ITB, Bandung, Indonesia.

